

(19) Japan Patent Office (JP) (12) Japanese Laid Open Patent (11) Patent Application
 Publication (A)
 Laid-Open Patent 2002-372689
 (P2002-372689A)
 (43) Publication December 26, 2002

(51) Int. Cl. ⁷	ID	FI	Theme Code (Ref.)
G 02 C 7/06		G 02 C 7/06	2H006
G 02 B 3/10		G 02 B 3/10	

Examination Apply No apply The number of inventions 9 OL (total 18 pages)

(21) Appl. No. Patent Application 2002-117293(P2002-117293)	(71) Applicant 000002369 Seiko Epson Co., Ltd. 4-1 Nishi-shinjuku 2-chome, Shinjuku-ku, Tokyo
(62) Division of Patent Application H09-518047	(72) Inventor Hiroyuki Mukouyama c/o Seiko Epson Co., Ltd. 3-5 Yamato 3-chome, Sueshi, Nagano
(22) Filing date October 11, 1996	(72) Inventor Kazuhisa Kato c/o Seiko Epson Co., Ltd. 3-5 Yamato 3-chome, Sueshi, Nagano
(31) Priority Application No. Patent Appl. H07-306189	(74) Representative 100095728 Masashige Kamiyanagi, Patent Attorney (and three others)
(32) Priority Date November 24, 1995	
(33) Priority Country Japan (JP)	F term (ref.) 2H006 BD03

(54) [Title of the invention]

Progressive multi-focal lens and spectacle lens

(57) [Abstract]

[Objective]

To provide a progressive multi-focal lens and a spectacle lens having reduced distortion and deformation of images caused by the change in magnification between the distant vision and near vision regions of a progressive multi-focal lens.

[Resolution means]

The progressive refractive surface, provided on the object side surface in the prior art, is provided on the eye-point side surface. Therefore, the object side surface can be a spherical surface having a constant base curve. This can eliminate the change in magnification associated with the shape factor and thus reduce the difference in magnification between the distant vision and near vision regions and suppress the change in magnification in the progressive region. Hence, a progressive multi-focal lens that

ensures comfortable vision with reduced undulation and deformation of images caused by the difference in magnification is provided.

[Claims]

[Claim 1]

A progressive multi-focal lens comprising distant vision and near vision regions having different refractive powers and a progressive region having progressively changed refractive powers in between, characterized by the fact that:
the curvature of a progressive refraction surface forming the distant vision, near vision, and progressive regions is provided on the eyepoint side surface.

[Claim 2]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that the object side surface is spherical.

[Claim 3]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that the object side surface is aspherical and rotationally symmetric.

[Claim 4]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that the object side surface is rotationally symmetric, a main meridian curve extends from the distant vision region to near vision region, and the average surface refractive power D1 of the eyepoint side surface near the main meridian curve in the distant vision region and the average surface refractive power D2 of the eyepoint side surface near the main meridian curve in the near vision region have the following relationship:

$$0.5 \leq (D1 - D2) \leq 3.5 \dots (A)$$

[Claim 5]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that a main meridian curve extends from the distant vision region to near vision region and the curvature of the progressive refraction surface along the main meridian curve is smaller in the near vision region than in the distant vision region.

[Claim 6]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that a main meridian curve extends from the distant vision region to near vision region and the curvatures of the progressive refraction surface forming the distant vision region decreases with the distance from the main meridian curve at least in a partial area thereof.

[Claim 7]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that a main meridian curve extends from the distant vision region to near vision region and the curvature of the progressive refraction surface forming the near vision region increases with the distance from the main meridian curve at least in a partial area thereof.

[Claim 8]

The progressive multi-focal lens according to Claim 1 characterized by the fact that a main meridian curve extends from the distant vision region to near vision region and the curvatures of the progressive refraction surface forming the main meridian curve are equal in two orthogonal directions at least in a partial area thereof.

[Claim 9]

A spectacle lens produced by processing the progressive multi-focal lens according to Claim 1 to form a round shape that fits in an eyeglass frame.

[Detailed explanation of the invention]

[0001]

[Scope of the invention]

The present invention relates to a progressive multi-focal lens for eyesight correction and a spectacle lens using it.

[0002]

[Prior art technology and problems overcome by the invention]

A progressive multi-focal lens includes two vision region having different refractive powers and a vision region having progressively changed refractive power in between. Having no borders between the vision regions, a progressive multi-focal lens is excellent in appearance and gives visions with different refractive powers in one lens. Therefore, it is widely used as spectacle lens having eyesight correction function for presbyopia. Fig.25 shows a general structure of a prior art progressive multi-focal lens widely used as spectacle lens. This progressive multi-focal lens 1 has a distant vision region 11 for viewing distant objects at the upper area and a near vision region 12 having a different refractive power from the distant vision region 11 for viewing near objects at the lower area. The distant vision and near vision regions 11 and 12 are smoothly connected by a progressive region 13 having progressively changed refractive powers for viewing middle-distant objects between far and near.

[0003]

The two surfaces of the single lens 1 used for eyeglasses, a refractive surface 2 on the eyepoint side and a refractive surface 3 on the side where an object to view is present, must carry all the performances required for spectacle lens, such as a peak refractive power that corresponds to the user's shortsightedness, a cylindrical refractive power for

astigmatic vision correction, an additional refractive power for presbyopia correction, and a prism refractive power for oblique position correction. To do so, the prior art progressive multi-focal lens 1 has a progressive refractive surface 5 presenting progressively changed refractive powers to form the distant vision region 11, near vision region 12, and progressive region 13 on the object side refractive surface 3 and, for example, a refractive surface for astigmatic vision correction, which is described later, on the eyepoint side refractive surface 2, as shown in Fig.25.

[0004]

Fig.26 shows astigmatism obtained in the prior art progressive multi-focal lens 1 and Fig.27 shows a rough distribution of z-coordinates of the progressive refractive surface 5 formed on the object side refractive surface 3 of the prior art progressive multi-focal lens 1. Here, a plane on the refractive surface 3 is defined by x-y coordinates and the z-coordinate is defined as the direction orthogonal to the plane and coincided with the thickness direction of the lens. It is unnecessary to define the x-y coordinates specifically; however, it is hereafter defined that the vertical direction is the y-coordinate and the horizontal direction is the x-coordinate when the spectacle lens is in use as a pair of glasses.

[0005]

The progressive refractive surface 5 is aspherical so as to have successively changed refractive powers. The surface has different curvatures in different regions. As is apparent from Fig.26, having the progressive refractive surface 5 introduced on the object side surface 3, the progressive multi-focal lens 1 has astigmatism because of differences in curvature between the x and y directions even if it is not for astigmatic vision correction and spherical on the eyepoint side surface 2. Fig.26 is an illustration of astigmatism in which the differences in astigmatism expressed in a unit of diopter (D) are contoured.

[0006] An eyeglasses' user without astigmatic vision can obtain clear vision nearly unaware of blurrness of images when the lens has astigmatism less than 1.0 diopter, desirably less than 0.5 diopter. Thus, a clear vision region 21 where astigmatism is less than 1.0 diopter, desirably less than 0.5 diopter, is provided along a main meridian curve (umbilical meridian curve) 14 extending from the distant vision region to near vision region and being slightly curved toward the nose side with consideration of convergence of

the eye. In particular, no difference in curvature between the x and y directions is attempted on the main meridian curve 14 in order to prevent astigmatism. This results in creating an aspherical surface from the main meridian curve 14 to the periphery of the lens 1 with increasing astigmatism. Large differences in astigmatism cause the image to undulate, making the user uncomfortable when he/she moves his/her line of sight. Thus, the distant vision region 11 where the line of sight is widely moved is designed to have smaller differences in astigmatism. The progressive refractive surface 5 is designed to have no significant differences in astigmatism also in other regions. Then, the lens 1 is processed to form a round shape that fits in an eyeglass frame for a user.

[0007]

The lens 1 shown in Figs. 26 and 27 has a base curve Pb, which indicates the basic refractive power of the object side surface 3 on which the progressive refractive surface 5 is formed, of 4.00 D, a power addition Pa of 2.00 V, a surface refractive power D2 on the eyepoint side surface 2 of 6.00 D, a lens thickness at the center t of 3.0 mm, and a lens diameter d of 70.0 mm.

[0008]

Fig.28 shows a prior art progressive multi-focal lens 1 provided on the eyepoint side surface 2 with a toric surface 6 having a cylindrical refractive power C for astigmatic vision correction. Fig.29 shows astigmatism of this lens and Fig.30 shows z-coordinates of the toric surface 6. The lens having the astigmatism shown in Fig.29 has a cylindrical refractive power of -2.0 D and the other conditions are the same as the lens having the astigmatism shown in Fig.26. The progressive multi-focal lens 1 for astigmatic vision has astigmatism of 2.00 D evenly introduced along the main meridian curve 14 for astigmatic vision correction. It is also processed to form a round shape that fits in an eyeglass frame for a user.

[0009]

Spectacle lenses having a progressive refractive surface to have successively changed refractive powers from the distant vision to near vision region is on market and widely

used for eyesight correction, including those for astigmatic vision correction. The progressive multi-focal lens is used to correct a wide range of eyesight. When the power addition, which is the difference in refractive power between the distant vision and near vision regions, is large, the progressive refractive surface becomes more aspherical and, therefore, has larger astigmatism on the lens. Hence, the shape of the progressive refractive surface is modified to eliminate astigmatism from the lens region generally used and remarkable changes in astigmatism are prevented to provide comfortable vision to the user. Reducing changes in astigmatism alleviates undulation and deformation of images. However, the progressive multi-focal lens suffers from undulation and deformation of images due to the difference in refractive power between the distant vision and near vision regions. The distant vision region 11 has a refractive power for focusing in the distance while the near vision region 12 has a refractive power different from that of the distant vision region 11 for focusing in proximity. The progressive region 13 where the magnification is gradually changed is another factor for undulation and deformation of obtained images.

[0010]

Various designs have been proposed for the progressive refractive surface and some benefit from computational ability of computers. It seems to have reached the limit of reduction in undulation and deformation of images by modifying astigmatism on the progressive refractive surface. Thus, the present invention is intended to provide a progressive multi-focal lens that can reduce distortion and deformation of images caused by the difference in magnification between the distant vision and near vision regions. The present invention is also intended to provide a progressive multi-focal lens and a spectacle lens that provide comfortable vision to the user with undulation and deformation of images being further reduced, which has been reaching the limit in the current designs of the progressive refractive surface. The present invention is further intended to provide a progressive multi-focal lens and a spectacle lens that provide clear vision with reduced undulation and deformation to the user who needs a larger difference between the distant vision and near vision regions (power addition), which more likely causes undulation and deformation of images.

[0011]

[Problem resolution means]

The inventors of the present application focused on the position of the progressive refractive surface that produces magnifications of a progressive multi-focal lens and found that the progressive refractive surfaces formed on the eyepoint side serves to reduce the difference in magnification between the distant vision and near vision regions and, thus, significantly reduce undulation and deformation caused by it. Hence, the present invention provides a progressive multi-focal lens comprising distant vision and near vision regions having different refractive powers and a progressive region having progressively changed refractive powers in between, characterized by the fact that the curvature of a progressive refraction surface forming the distant vision, near vision, and progressive regions is provided on the eyepoint side surface of the progressive multi-focal lens.

[0012]

The magnification SM of a lens is generally defined by the following expression.

[0013]

$$SM = Mp \times Ms \dots (1)$$

[0014]

wherein M_p is a power factor and M_s is a shape factor, which are defined by the following in which, as shown in Fig.1, L is the distance between the peak of the eyepoint side surface of the lens (the inner peak) and the eyepoint, P_o is the refractive power at the inner peak (the inner peak refractive power), t is the thickness of the lens at the center, n is the refractive index of the lens, and P_b is the base curve (refractive power) of the object side surface of the lens:

[0015]

$$Mp = 1 / (1 - L \times Po) \dots (2)$$

$$M_s = 1 / (1 - (t \times P_b) / n) \dots (3)$$

[0016]

Here, for the calculation of the expressions (2) and (3), the inner peak refractive power P_o and the base curve P_b are expressed in diopter (D) and the distance L and the thickness t are expressed in meter (m).

[0017]

The inner peak refractive power P_o serves to correct eyesight in the distant vision and near vision regions. For a certain inner peak refractive power, the change in magnification M_s can be suppressed by reducing the change in the base curve P_b of the object side surface. For example, a constant base curve P_b on a convex surface on the object side can be used to eliminate the change in magnification M_s . However, as shown by the broken lines in Fig.1, the progressive refractive surface on the object side surface does not allow a constant base curve P_b on the object side. Furthermore, the shape factor M_s is subject to larger changes as the power addition increases, enhancing undulation and deformation of images. Thus, the present invention provides the progressive refractive surface on a concave surface on the eyepoint side. This can reduce the change in the base curve P_b on the object side surface as shown by the solid lines in Fig.1. For example, a spherical progressive multi-focal lens having a constant base curve can be provided. Thus, the progressive multi-focal lens of the present invention can minimize the difference in magnification between the distant vision and near vision regions. It also suppresses the change in magnification in the progressive region, reducing undulation and deformation of images. In this way, the present invention provides a progressive multi-focal lens and a spectacle lens with reduced undulation and deformation of images while having equal astigmatism performance to that of the prior art progressive multi-focal lens, thus providing the user with further comfortable vision. In particular, undulation and deformation of images is significantly reduced in a progressive multi-focal lens with a large power addition.

[0018]

Fig.2 shows the magnifications of an embodiment of the progressive multi-focal lens of the

present invention having a base curve Pb of 5.00 D, a power addition Pa of 3.00 D, a spherical refractive power S of 2.00 D, a refractive index n of 1.662, a distance L of 15.0 mm in comparison with a prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface on the object side. As seen from the figure, the difference in magnification between the distant vision and near vision regions is reduced to 80% of the prior art, which significantly prevent undulation and deformation of images.

[0019]

As further shown in Fig.3, this effect is more remarkable as the power addition Pa increases. Fig.3 shows the difference in magnification between the distant vision and near vision regions of the progressive multi-focal lens of the present invention having the progressive refractive surface on the eyepoint (concave surface) side wherein the base curve Pb is 4.00 D and the spherical refractive power S is 0.00 D. For comparison, the difference in magnification between the distant vision and near vision regions of the prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface on the object (convex surface) side is also shown. As seen from this figure, the progressive multi-focal lens of the present invention realizes the difference in magnification of one-rank lower power addition Pa (approximately 0.25 D smaller Pa) or even two-rank lower for higher power additions compared to the prior art progressive multi-focal lens. As a result, the user has undulation and deformation of images of the lens reduced to the level of one- or two-rank lower power addition.

[0020]

The progressive multi-focal lens of the present invention has the progressive refractive surface on the eyepoint side surface. Therefore, the progressive refractive surface has a smaller curvature (reciprocal to the radius of curvature) in the near vision region than in the distant vision region along the main meridian curve. Furthermore, the curvature of the progressive refractive surface decreases with distance from the main meridian curve at least in part of the distant vision region. The curvature of the progressive refractive surface increases with the distance from the main meridian curve at least in part of the near vision region.

[0021]

The progressive multi-focal lens having a power addition between 0.5 and 3.5 covers a wide range of users from those with very slight farsightedness to those with severe farsightedness and almost no adjustment ability. The progressive multi-focal lens of the present invention has a significant effect on reducing undulation and deformation of images in the range shown in Fig.3. When the object side surface of the progressive multi-focal lens of the present invention is rotationally symmetric, the power addition of this range is expressed by the following in which D1 is the average surface refractive power of the eyepoint side surface near the main meridian curve in the distant vision region and D2 is the average surface refractive power of the eyepoint side surface near the main meridian curve in the near vision region:

[0022]

$$0.5 \leq (D_1 - D_2) \leq 3.5 \dots (4)$$

[0023]

It is further desirable that the progressive refractive surface has a minimized astigmatism on the main meridian curve. To do so, it is desirable that the progressive refractive surface has the curvatures equal in two orthogonal directions at least on part of the main meridian curve.

[0024]

The progressive multi-focal lens of the present invention has the progressive refractive surface on the eyepoint side. Thus, with a toric surface for astigmatic vision correction provided on the eyepoint side surface, a progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction having the astigmatic vision correction properties on the eyepoint side surface is provided. Hence, a progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface and a cylindrical refractive power on the eyepoint side surface is provided. The progressive multi-focal lens of the present invention having an astigmatic vision correction properties can be used as spectacle lens in which the progressive refractive surface provided on the eyepoint side surface minimizes the difference in magnification between

the distant vision and near vision regions as described above so as to correct astigmatic vision and reduce undulation and deformation of images, providing comfortable vision to the user with astigmatic vision.

[0025]

The progressive multi-focal lens having eyesight correction and astigmatic vision correction properties on the eyepoint side surface can be produced by a first step in which the curvature of a progressive refractive surface (hereafter termed original progressive refractive surface) for exhibiting a desired eyesight correction properties on the eyepoint side surface is determined, a second step in which the curvature of a toric surface (hereafter termed original toric surface) for exhibiting a desired astigmatic vision correction properties on the eyepoint side surface is determined, and a third step in which the curvatures of the original progressive refractive surface and original toric surface are combined to obtain the eyepoint side surface of a progressive multi-focal lens. With the progressive refractive surface having an original progressive refractive surface combined with an original toric surface on the eyepoint side surface, a progressive multi-focal lens having both functions, astigmatic vision correction functions by the toric surface and eyesight correction function by the progressive refractive surface other than astigmatic vision correction, and having reduced undulation and deformation of images is provided.

[0026] In the third step above, a progressive refractive surface having astigmatic vision correction properties can be obtained by adding the z-coordinate values to form an original toric surface having astigmatic vision correction properties to the z-coordinate values to form an original progressive refractive surface having eyesight correction properties. However, as a result of discussions by the authors of the present application, it is desirable to use the following expression (5) in order to obtain a progressive refractive surface having the astigmatic vision correction properties equal to that of the prior art progressive multi-lens for astigmatic vision correction having a progressive refractive surface on the object side and a toric surface on the eyepoint side. Thus, in the third step, the following expression (5) is used to obtain the value Z at any point (X, Y, Z) on the eyepoint side surface of a progressive multi-focal lens in which C_p is the approximated curvature of the original progressive refractive surface and C_x and C_y are the curvatures in the x- and y-directions of the original toric surface, respectively. In this way, a progressive multi-focal lens having the astigmatic vision correction and eyesight correction properties

equal to those of the prior art progressive multi-focal lens and also having a reduced difference in magnification and, thus, reduced undulation and deformation.

[0027]

[Math 1]

$$Z = \frac{(C_p + C_x) X^2 + (C_p + C_y) Y^2}{1 + \sqrt{1 - (C_p + C_x)^2 X^2 - (C_p + C_y)^2 Y^2}}$$

[0028]

Here, in the state in which the glasses are worn, the z-axis is defined as an axis passing the center of a progressive refractive surface from the object side to eyepoint side, the y-axis extending from the bottom to top orthogonally to the z-axis, and the x-axis extending from the left to right orthogonally to the z-axis. X and Y are the coordinates at any point on the x-y coordinates in the eyepoint side surface and Z is a z-coordinate in the orthogonal direction to the eyepoint side surface. The curvature C_p is an approximated curvature at any point p (X, Y, Z) on the original progressive refractive surface. The curvatures C_x and C_y are the curvatures in the x- and y-directions, respectively, on the toric surface for astigmatic vision correction. In this embodiment, the approximated curvature C_p is an average curvature in the radial direction, which is reciprocal to the radius of a circle passing the three point, p' comprising a rotationally symmetric point to the point p, $(-X, -Y, Z)$, and the inner origin $(0, 0, 0)$, in the x-y plane including any point p (X, Y, Z) on the original refractive surface orthogonal to the z-axis (that passes through the lens center or inner origin $(0, 0, 0)$). However, when a point p on the original progressive refractive surface is at the inner origin, the average curvature in the radial direction C_p is not defined and $Z = 0$ in the expression (5).

[0029]

The present invention uses the composite expression (5) above to introduce the properties of the original progressive refractive surface and original toric surface onto the eyepoint

side surface. Thus, a progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface for eyesight correction on the eyepoint side surface and a progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface for both eyesight correction and astigmatic vision correction on the eyepoint side surface can be provided. Spectacle lenses extensively used to cover a wide range of users with or without need of astigmatic vision correction can be realized. A series of spectacle lenses using a progressive multi-focal lens with reduced undulation and deformation can be on market for all users.

[0030]

With a base 270-degree direction prism being added, the progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface on the eyepoint side surface can be reduced in thickness. The progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface on the eyepoint side of the present invention can be provided as a meniscus lens suitable for spectacle lens by satisfying the following expression in which Ps is the peak refractive power of the distant vision region, Pa is the additional refractive power (power addition), and Pb is the refractive power (base curve) of the object side surface of an progressive multi-focal lens:

[0031]

$$Pb > Ps + Pa \dots (6)$$

[0032]

[Embodiments]

The present invention is further described in detail using several progressive multi-focal lenses designed based on the present invention.

[Embodiment 1]

[0033]

Fig.4 shows a progressive multi-focal lens 10 having a progressive refractive surface 5 on the eyepoint side surface 2 according to the present invention. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a distant vision region 11 for viewing distant objects in the upper area and a near vision region 12 having a different refractive power from that of the distant vision region for viewing near objects in the lower area, similarly to the prior art progressive multi-focal lens shown in Fig.25. In addition, the progressive multi-focal lens 10 also has a progressive region 13 having successively changed refractive powers to smoothly connect the distant vision and near vision regions 11 and 12. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a progressive refractive surface 5 that is aspherical for forming the distant vision region 11, near vision region 12, and progressive region 13 on the eyepoint side surface 2. Therefore, the object side surface 3 can be a spherical surface having a constant base curve Pb. As described above using the expressions (1) to (3), the difference in magnification between the distant vision and near vision region 11 and 12 is smaller and the change in magnification in the progressive region 13 is reduced. Thus, undulation and deformation of images due to the difference in magnification is significantly reduced compared to the prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface on the object side surface.

[0034]

Figs. 5 and 6 show astigmatism and z-coordinates of the eyepoint side surface or the progressive refractive surface 5 of the progressive multi-focal lens 10 of the present invention having the progressive refractive surface on the eyepoint side surface 2. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment is designed to achieve astigmatism equal to the prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface on the object side surface 3 as described above using Figs. 26 and 27. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment shown in Figs. 5 and 6 has a spherical object side surface 3 having a constant base curve Pb, or refractive power, of 4.00 D. The eyepoint side surface 2 has an average surface refractive power in the distant vision region of 6.00 D, an average surface refractive power in the near vision region of 4.00 D, and a power addition Pa of 2.00 D. The distant vision region 11 has a spherical refractive power S of -2.00 D, a lens thickness at the center t of 3.0 mm, and a lens diameter d of 70.0 mm. Under these conditions, the progressive refractive surface 5 shown in Fig.4 can be provided on the eyepoint side surface 2 and, accordingly, the progressive multi-focal lens 10 having

the astigmatism shown in Fig.5 can be obtained. The astigmatism of the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment shown in Fig.5 is nearly the same as that of the prior art progressive multi-focal lens shown in Fig.26. It is understood that progressive multi-focal lens 10 having equal astigmatism properties to the prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface 5 on the object side surface 3 can be obtained with the progressive refractive surface 5 being on the eyepoint side surface 2.

[0035]

Hence, having the equal astigmatism properties to the prior art in terms of astigmatism, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment ensures a sufficient clear vision region and reduces undulation and deformation of images due to the difference in astigmatism. In comparison of the difference in magnification between the distant vision and near vision regions 11 and 12, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a magnification in the distant vision region of 0.976, a magnification in the near vision region of 1.007, and their difference of 0.031. On the other hand, the prior art progressive multi-focal lens 1 having the progressive refractive surface on the object side shown in Fig.25 has a magnification in the distant vision region of 0.976, a magnification in the near vision region of 1.011, and the their difference of 0.035. Thus, it is understood that the difference in magnification between the distant vision and near vision regions of the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment is improved by 12 to 13 % compared to the prior art. With reduced difference in magnification, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has reduced undulation and deformation of images caused by the difference in magnification in a progressive multi-focal lens. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment can be processed to form a round shape that fits in an eyeglass frame, providing a bright spectacle lens 9 having significantly reduced undulation and deformation of images.

[0036]

The progressive refractive surface 5 on the eyepoint side surface 2 of this embodiment is further described. Fig.7 shows the change in radius of curvature of the progressive refractive surface 5 along the main meridian curve 14. In the figure, the z-coordinate is negatively increased in the direction to an object to view and positively increased in the

direction to the eyepoint. Assuming that the progressive refractive surface 5 has a radius of curvature r_1 at the part forming the upper, distant vision region 11 and a radius of curvature r_2 at the part forming the lower, near vision region 12 along the main meridian curve 14, the progressive multi-focal lens for eyeglasses has a smaller refractive power in the distant vision region 11 than in the near vision region 12; thus, subtracting of the refractive power value in the near vision region 12 from the refractive power value in the distant vision region 13 gives a negative number. Hence, the radius of curvature r_1 is smaller than the radius of curvature r_2 in the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment. The curvatures C_1 and C_2 , which are reciprocal to the radiiuses of curvature r_1 and r_2 , of the distant vision and near vision regions 11 and 12 have the following relationship:

[0037]

$$C_1 > C_2 \dots (7)$$

[0038]

As shown in Fig.8 (a), the radius of curvature in the direction 15 orthogonal to the main meridian curve 14 in the distant vision region 11 increases with the distance from the main meridian curve 14 in some area, producing the progressive region 13 continued to the near vision region 12 having larger radiiuses of curvature. On the other hand, as shown in Fig.8 (b), the curvature in the direction 16 orthogonal to the main meridian curve 14 in the near vision region 12 decreases with the distance from the main meridian curve 14 at least in some area, producing the progressive region 13 continued to the distant vision region 11 having smaller radiiuses of curvature. Assuming the radius of curvature in the direction 15 orthogonal to the main meridian curve 14 in the distant vision region 11 is r_3 at a point near the main meridian 14 and r_4 at a point 5 to 35 mm away from the main meridian curve 14, the radius of curvature r_3 is equal to or smaller than the radius of curvature r_4 . Thus, the curvatures C_3 and C_4 , which are reciprocal to the radiiuses of curvature r_3 and r_4 , have the following relationship in the distant vision region 11; here, C_3 is the curvature near the main meridian curve 14 and C_4 is the curvature away from the main meridian curve 14:

[0039]

$$C_3 \geq C_4 \dots (8)$$

[0040]

It is also possible that the eyepoint side surface 2 forming the distant vision region 11 is made spherical to ensure a large clear vision region in the distant vision region 11 and the progressive region 13 is concentrated near the near vision region 12. In such a case, the curvatures C_3 and C_4 are equal in the distant vision region 11. On the other hand, assuming the radius of curvature in the direction 16 orthogonal to the main meridian curve 14 in the near vision region 12 is r_5 at a point near the main meridian 14 and r_6 at a point 5 to 35 mm away from the main meridian curve 14, the radius of curvature r_5 is equal to or larger than the radius of curvature r_6 . Thus, the curvatures C_5 and C_6 , which are reciprocal to the radiiuses of curvature r_5 and r_6 , have the following relationship in the near vision region 11; here, C_5 is the curvature near the main meridian curve 14 and C_6 is the curvature apart from the main meridian curve 14:

[0041]

$$C_5 \leq C_6 \dots (9)$$

[0042]

It is also possible in the near vision region 12 that the eyepoint side surface 2 is made spherical to ensure a large clear vision region in the near vision region 12 and the progressive region is concentrated near the distant vision region 11. In such a case, the curvatures C_5 and C_6 are equal in the near vision region 12. The change in radius of curvature of the expressions (8) and (9) above along the horizontal direction in relation to the main meridian curve 14 is explained using the curvatures in the directions 15 and 16 that are orthogonal to the main meridian curve 14. However, there are no specific restrictions to the direction and it is sufficient that the average curvature associated with the distance from the main meridian curve 14 satisfies the expressions (8) and (9).

[0043] When the spectacle lens 9 of this embodiment is in use, the user's eyeballs are most

likely moved along the main meridian curves 14. Therefore, it is desired in the progressive multi-focal lens 10 with no need of astigmatic vision correction that the main meridian curve 14 is formed as a collection of umbilical points to prevent undulation and deformation of images. Then, the curvatures C1, C2, C3, and C5 above have the following relationship:

[0044]

$$C1 = C3$$

$$C2 = C5 \dots (10)$$

[0045]

Here, the average surface refractive power D1 of the eyepoint side surface 2 in the distant vision region 11 and the average surface refractive power D2 of the eyepoint side surface 2

in the near vision region 12 along the main meridian curve 14 are expressed by the following expressions:

[0046]

$$D1 = (n - 1) \times C1$$

$$D2 = (n - 1) \times C2 \dots (11)$$

in which n is the refractive index of the lens material forming the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment.

[0047]

The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a spherical object side surface 3; therefore, the power addition d is the difference between the average surface refractive powers D1 and D2 of the distant vision and near vision regions 11 and 12. The curvature C1 of the distant vision region 11 is larger than the curvature C2 of the near vision region 12 as shown by the expression (7), the average surface refractive power D1 in the distant vision region 11 is larger than the average surface refractive power D2 in the near vision

region 12 on the eyepoint side surface 2. As described above using Fig.3, the progressive multi-focal lens 10 of the present invention can be used to reduce the difference in magnification between the distant vision and near vision region 11 and 12 so as to provide comfortable vision to the user with reduced undulation and deformation of image in a wide range of progressive multi-focal lenses having a power addition from 3.5 diopter for users with substantially no adjustment ability to 0.5 diopter for users with substantially no farsightedness. For example, the 3.50 diopter is sufficient to provide clear vision of objects in infinity to approximately 30 cm away to a user with substantially no adjustment ability. This power addition is expressed by the following expression as described above in which D1 and D2 are the average surface refractive powers in the distant vision and near vision regions 11 and 12:

[0048]

$$0.5 \leq (D_1 - D_2) \leq 3.5 \dots (4)$$

[0049]

When a toric surface is provided on the eyepoint side surface 2 for astigmatic vision correction, the main meridian curve 14 is not a collection of umbilical points and nearly constant astigmatism is introduced along the main meridian curve 14 as shown in the next embodiment.

[0050]

As disclosed in detail in Patent Publication H02-39768, it is desirable that astigmatism caused by the difference in curvature is produced in the direction that cancels astigmatism caused by the refractive power when the refractive power is oriented along the main meridian curve 14 for reducing the thickness of spectacle lens or standardizing it. In such a case, it is desired that the difference is introduced between the curvatures C1 and C2 along the main meridian curve 14 and between the curvatures C3 and C5 in the direction orthogonal to the main meridian curve 14. In the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment having the progressive refractive surface 5 on the eyepoint side surface 2, the

refractive power P_t along the main meridian curve 14 positively increases toward the periphery of the lens than the refractive power P_s in the direction orthogonal to the main meridian curve 14. In such a case, it is desired that the curvatures C_1 and C_2 along the main meridian curve 14 are slightly larger than the curvatures C_3 and C_5 in the direction orthogonal to the main meridian curve 14 as shown by the following expression (12) in order to cancel astigmatism caused by the refractive powers P_t and P_s .

[0051]

$$\begin{aligned} C_1 &> C_3 \\ C_2 &> C_5 \dots (12) \end{aligned}$$

[0052]

Furthermore, as shown in Fig.9 (a), the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has the progressive refractive surface 5 on the eyepoint side surface 2, being larger in thickness in the distant vision region 11 than in the near vision region 12. Thus, it is desired to introduce a base direction 270-degree prism having no eyesight correction function in order to reduce the progressive multi-focal lens 10 in thickness and weight. This leads to the progressive multi-focal lens 10 having a significantly small thickness as shown in Fig.9 (b). The prism base direction is expressed by the angle at which incident light to the eyepoint side surface 2 of the lens at a right angle is deflected, the angle being measured anti-clock wise about the horizontal line seen from the object side surface 2. Prism quantity to be introduced is selected in a range between 0.25 and 3.00 prism diopters for an optimum value of the user.

[0053]

The inner peak refractive power (peak refractive power) P_s in the distant vision region 11, additional refractive power (power addition) P_a , and refractive power (base curve) P_b of the objective side surface 2 of the progressive multi-focal lens must satisfy the following expression (6) in order for the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment to have a convex object side surface 3 and a concave eyepoint side surface 2 so that it is suitable for spectacle lens:

[0054]

$$Pb > Ps + Pa \dots (6)$$

[0055]

By selecting the peak refractive power Ps , power addition Pa , and base curve Pb that satisfy the expression (6), a meniscus progressive multi-focal lens 10 can be obtained, providing a spectacle lens which fits the face.

[Embodiment 2]

[0056]

Fig.10 shows a progressive multi-focal lens 10 having a progressive refractive surface 5 and a toric surface 6 on the eyepoint side surface 2. In order to make a distinction from a progressive refractive surface of this embodiment having both eyesight correction and astigmatic vision correction properties formed on the eyepoint side surface 2, a progressive refractive surface for exhibiting desired eyesight correction properties other than astigmatic vision correction on the eyepoint side surface is hereafter termed original progressive refractive surface and a toric surface for exhibiting a desired astigmatic vision correction properties on the eyepoint side surface is hereafter termed original toric surface.

[0057]

The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment is designed and produced according to the steps illustrated in the flowchart of Fig.13. First, an original progressive refractive surface is obtained based on parameters according to the user's farsightedness and way of using eyeglasses and the outcome is stored as coordinates or curvatures at the step ST1. Before or after this, an original toric surface for correcting astigmatic vision of the user is obtained and the outcome is stored as curvatures at the step ST2. It is nevertheless to say possible to store the outcome as coordinates. Then, the outcomes of the ST1 and ST2 are used to obtain the coordinates on the eyepoint side surface having the eyesight

correction and astigmatic vision correction properties at the step ST3. In this embodiment, the following composite expression (5) as described above is used to obtain z-coordinates on the eyepoint side surface 2:

[0058]

[Math 2]

$$Z = \frac{(C_p + C_x) X^2 + (C_p + C_y) Y^2}{1 + \sqrt{1 - (C_p + C_x)^2 X^2 - (C_p + C_y)^2 Y^2}} \dots (5)$$

[0059]

The composite expression (5) can be used to provide a progressive multi-focal lens having an astigmatic vision correction function for eyesight correction as the prior art progressive multi-focal lens shown in Fig.28.

[0060]

Fig.11 shows astigmatism of the progressive multi-focal lens 10 of the present invention, which corresponds to the prior art progressive multi-focal lens having a progressive refractive surface on the object side surface 3 and a toric surface on the eyepoint side surface 2 shown in Fig.29. Fig.12 shows z-coordinates of the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment. The eyepoint side surface 2 having the z-coordinate values Z shown in Fig.12 is obtained by using the expressing (5) above to combine the original progressive refractive surface 5 shown in Fig. 6 with the original toric surface 6 shown in Fig.30. It is seen from the Fig.11, provided with this eyepoint side surface 2 and the object side surface 3, the progressive multi-focal lens 10 is a progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction having nearly the same astigmatism properties as that shown in Fig.29. Thus, the present invention provides the progressive multi-focal lens 10 having eyesight correction and astigmatic vision correction properties equal to those of the prior art progressive multi-focal lens having the progressive refractive surface on the object side surface 3 and the toric surface on the eyepoint side surface 2.

[0061]

In this embodiment, the curvature of a toric surface for astigmatic vision correction is introduced on the eyepoint side surface in addition to the curvature for the eyesight correction so that the eyepoint side surface also has a astigmatic vision correction properties, or a cylindrical refractive power. Thus, the progressive refractive surface having both eyesight correction and astigmatic vision correction properties is provided on the eyepoint side surface. This results in reducing the difference in magnification between the distant vision and near vision regions 11 and 12 besides the eyesight correction and astigmatic vision correction properties, providing the progressive multi-focal lens 10 having reduced undulation and deformation of images,. The difference in magnification between the distant vision and near vision of the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment is reduced by 12 to 13 % both in 90-degree and 180-degree directions compared to the prior art lens. It is understood that the present invention reduces undulation and deformation of images also in the progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction. Hence, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment can be processed to form a round form that fits in an eyeglass frame to provide a spectacle lens 9 that corrects eyesight and astigmatic vision and has reduced undulation and deformation of images. The spectacle lens 9 of the present invention can provide comfortable vision to the user with astigmatic vision.

[0062]

The progressive multi-focal lens 10 shown in Figs. 11 and 12 has a constant base curve, which represents the refractive power of the object side surface 3, of 4.00 D. The progressive refractive surface 5 on the eyepoint side 2 has an average refractive power in the distant vision region 11 of 6.00 D, an average refractive power in the near vision region 12 of 4.00 D, and a power addition of 2.00 D before the toric surface is combined, which are the same as in Embodiment 1. Then, a toric surface having an astigmatic axis of 90 degrees, a spherical refractive power of -2.00 D, and a cylindrical refractive power of -2.00 D is combined with it. The lens has a lens thickness at the center t of 3.0 mm, and a diameter d of 70.0 mm.

[0063]

Fig.15 shows a lens 19 having a progressive refractive surface on the eyepoint side surface 2 formed by adding the z-coordinate values of the original toric surface shown in Fig.30 to the z-coordinate values of the original progressive refractive surface shown in Fig.6 instead of using the composite expression (5) above. Fig.16 shows astigmatism of the lens 19 and Fig.17 shows z-coordinates of the eyepoint side surface 2 of the lens 19. A progressive refractive surface having eyesight correction and astigmatic vision correction functions can be formed by adding the z-coordinate values of an original toric surface to the z-coordinate values of an original progressive refractive surface. However, as seen from Fig.16, the astigmatism equal to that of the prior art progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction shown in Fig.29 is hardly obtained without using the above composite expression (5). Therefore, it is understood that the eyesight correction and astigmatic vision correction equal to the prior art progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction is hardly obtained.

[0064]

This can also be seen in Fig.18 where the change in astigmatism along the main meridian curve 14 of each of the progressive multi-focal lenses is shown. In Fig.18, the absolute values of astigmatism along the main meridian curve 14 of the prior art progressive multi-focal lens 1 for astigmatic vision correction are indicated by black circles and broken lines 31. The absolute values of astigmatism along the main meridian curve 14 of the progressive multi-focal lens 10 for astigmatic vision correction in Fig.11 formed by using the composite expression (5) are indicated by black circles and solid lines 32. As seen from this figure, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment having the eyepoint side surface 2 formed by using the composite expression (5) has astigmatism of 2 D in a significantly stable manner, which does not interfere with eyesight correction capability for astigmatic vision correction throughout the entire main meridian curve as in the prior art progressive multi-focal lens 1. On the contrary, the progressive refractive surface of the lens 19 in Fig. 16 formed by adding the coordinates of the original toric surface to those of the original refractive surface does have astigmatism of 2 D for astigmatic vision correction along the main meridian curve as indicated by black squares and broken lines 33. However, stable astigmatism is hardly obtained compared to the lens 10 obtained by using the composite expression (5). In particular, the change in

astigmatism is larger at the periphery of the lens 9, where astigmatism for astigmatic vision correction is hardly achieved. Here, relatively large changes in astigmatism lead to undulation and deformation of images when the eyeball is moved along the main meridian curve compared to the progressive multi-focal lens 10 produced by using the composite expression (5). In this way, the composite expression (5) can be used to combine an original progressive refractive surface with an original toric surface, providing a progressive multi-focal lens that ensures more comfortable vision with reduced undulation.

[0065]

In the embodiment described above, the spherical refractive power of a toric surface is provided in the vertical direction of the lens (AXIS 90 degrees) (in other words, the cylindrical refractive power of a toric surface is provided in the horizontal direction of the lens). However, the present invention is not restricted thereto. The x-y directions are not restricted to the direction described above and can be in proper directions, the coordinates of which are available to perform the process described above. For example, when the spherical refractive power of a toric surface is provided in the horizontal direction of the lens, the x and y axes of the x-y coordinates can be respectively rotated by 90 degrees to the left in relation to the embodiments described above so that the expression (5) of this embodiment is applicable. Furthermore, when the spherical refractive power of a toric surface is provided in an arbitrary direction (including an oblique direction) of the lens, the x and y axes of the x-y coordinates can be respectively rotated by α degrees (α is an arbitrary angle between 0 and 350) to the left in relation to the embodiments described above so that the expression (5) of this embodiment is applicable.

[0066]

In such a case, the step in which a progressive refractive surface without astigmatic vision correction capability as shown in Embodiment 1 is determined is first performed as described above. Then, for the calculation of the expression (5), the same coordinates must be used to express both an original progressive refractive surface and an original toric surface. It is desirable in determining an original progressive refractive surface without astigmatic vision correction capability for the sake of simplicity that the

coordinates that suitably expresses a toric surface, or the coordinates rotated by α degrees to the left in relation to the embodiment described above in consideration of the direction of the spherical refractive power of the toric surface, are used to express the original progressive refractive surface without astigmatic vision correction capability.

[Other embodiments]

[0067]

Figs. 19 to 24 show the progressive multi-focal lens 10 for astigmatic vision correction formed by using the composite expression (5) of the present invention under other conditions. Fig.19 shows the progressive multi-focal lens 10 formed by using the composite express (5) in which the original progressive refractive surface 5 and the original toric surface 6 are the most spherical. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a spherical refractive power S of 0.00 D, a cylindrical refractive power C of -0.25 D, an astigmatic axis of 45 degrees, and a power addition Pa of 0.50 D. Fig.20 shows a prior art progressive multi-focal lens 1 designed under the same conditions. It is seen from the comparison between the Figs. 19 and 20 that using the composite expression (5) results in the progressive multi-focal lens 10 having nearly the same astigmatism of the prior art progressive multi-focal lens 1 and a progressive multi-focal lens having the equal performance in eyesight correction and astigmatic vision correction to the prior art can be obtained. Furthermore, the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has the curvatures for exhibiting the functions of the progressive refractive surface 5 and toric surface on the eyepoint side surface 2. Thus, the object side surface 3 can be a spherical surface having a constant base curve. Therefore, the difference in magnification between the distant vision and near vision regions is reduced as in the embodiments described above. In addition, the change in magnification in the progressive region is reduced so that comfortable vision with reduced undulation and deformation of images can be provided to the user.

[0068]

Fig.21 shows astigmatism of the lens 19 of this embodiment wherein values of the z-coordinates of the original progressive refractive surface and original toric surface are

simply added to produce an eyepoint side surface 2. It is understood from the comparison of the astigmatism in this figure with those of Figs.19 and 20 that using the composite expression (5) results in a lens having the same performance as the prior art progressive multi-focal lens 1 in terms of astigmatism. Thus, the present invention reduces undulation and deformation of images, providing a progressive multi-focal lens that can be used as more comfortable spectacle lens than the prior art progressive multi-focal lens

[0069]

Fig.22 shows astigmatism of an embodiment of the progressive multi-focal lens 10 of the present invention in which the least spherical original progressive refractive surface 5 and original toric surface 6 are combined using the composite expression (5) and, therefore, the combined eyepoint side surface 2 has the largest difference in z-coordinate. The progressive multi-focal lens 10 of this embodiment has a spherical refractive power S of 0.00 D, an cylindrical refractive power C of -6.00 D, an astigmatism axis of 45 degrees, and a power addition of 4.50 D. Fig.23 shows astigmatism of an embodiment of the prior art progressive multi-focal lens 1 designed under the same conditions. It is understood from the comparison between Figs. 22 and 23 that using the composite expression (5) allows the progressive multi-focal lens 10 of this embodiment to have the same astigmatism as the prior art progressive multi-focal lens 1. The composite expression (5) of the present invention is usefully used to combine the progressive refractive surface 5 having a power addition between 0.5 and 3.5 D with the toric surface 6 having a cylindrical power C between 0.25 and 6.00 D. Thus, the composite expression (5) of the present invention can be used to provide a progressive multi-focal lens for astigmatic

vision correction having a progressive refractive surface 5 on the eyepoint side surface 2 with significantly reduced undulation and deformation of images.

[0070]

Fig.24 shows astigmatism of the lens 19 of this embodiment wherein z-coordinates of the progressive refractive surface and toric surface are added to produce an eyepoint side surface 2. As seen from this figure, using the composite expression (5) reduces astigmatism also in the progressive multi-focal lens of this embodiment, compared to the

lens produced by simply adding the z-coordinates of the original progressive refractive surface and original toric surface.

[0071]

The preferred embodiments described in this specification are given as examples and not restrictive. The scope of the present invention is defined by the attached claims and any modifications within the spirit and scope of the present invention are completely included in the claims.

[0072]

[Efficacy of the invention]

As described above, the progressive multi-focal lens of the present invention has the progressive refractive surface on the eyepoint side surface so that the object side surface is not necessarily designed aspherical and can be a spherical surface having a constant base curve. This prevents the change in magnification M_S based on the shape factor M_S according to the object side surface, reducing the difference in magnification between the distant vision and near vision regions. Recent advanced technologies in the design of progressive refractive surfaces have improved astigmatism in a progressive multi-focal lens to reduce undulation and deformation of image almost to a marginal level. In this circumstance, the present invention provides a progressive multi-focal lens with further reduced undulation and deformation of images caused by the difference in magnification between the distant vision and near vision regions. In particular, progressive multi-focal lenses having a large difference in refractive power between the distant vision ad near vision regions, or a high power addition, will have significantly reduced undulation and deformation of images from the benefit of the present invention. Hence, the present invention provides comfortable vision to the user of a progressive multi-focal lens having a large power addition who suffers from undulation and deformation of images.

[0073]

The present invention provides a composite expression to produce a progressive refractive

surface combined with a toric surface for astigmatic vision correction on the eyepoint side surface in order to exhibit certain performances. The composite expression can be used to produce a progressive refractive surface on the eyepoint side surface in order to reduce undulation and deformation of images in a progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction. Thus, the present invention realizes a progressive multi-focal lens that provides comfortable vision with reduced undulation and deformation to the users with or without need of astigmatic vision correction. The composite expression of the present invention allows the progressive multi-focal lens of the present invention to be applicable to any progressive surface design and obtain the effect of the present invention, such as reduced undulation and deformation. A series of prior art progressive multi-focal lenses having a progressive refractive surface on the object side surface, which are currently on market, can be replaced by a series of those having a progressive refractive surface on the eyepoint side surface. Then, any users can obtain comfortable and bright vision.

[0074]

Furthermore, the progressive multi-focal lens of the present invention has a progressive refractive surface and a toric surface on the eyepoint side surface. This leaves the object side surface free. As described above, the convex object side surface can be a fashionable spherical surface having a constant base curve to provide fashionable spectacle lens in addition to preventing undulation and deformation of images. The convex object side surface can be a rotationally symmetric, aspherical surface in order to improve astigmatism throughout the lens. The Japanese Laid-Open Patent H02-289818 discloses a method to reduce the lens in the edge thickness and improve astigmatism wherein the convex object side surface is a convex aspherical surface having the curvature that substantially increases from the symmetric axis to the lens periphery at least near the symmetric axis of the rotational symmetry. The rotationally symmetric, aspherical convex surface described above can be used with the progressive multi-focal lens of the present invention. Furthermore, the convex object side surface is not restricted to a spherical surface or a rotationally symmetric, aspherical surface. It can be an aspherical surface to further improve optical performances of the lens, such as astigmatism, or a fashionable aspherical surface that fits the user's individual preference. In this way, the present invention allows the progressive multi-focal lens to have an aspherical surface for adding fashion sense to optical performances on the convex surface. Hence, the

progressive multi-focal lens of the present invention can be processed to provide spectacle lens exhibiting optical performances as a progressive multi-focal lens and fashion sense of the user's individual preference. The object side surface of spectacle lens can be used in further versatile ways.

[Brief explanation of the drawings]

[Fig.1]

Fig.1 is a schematic representation of the progressive multi-focal lens of the present invention.

[Fig.2]

Fig.2 is a chart to show the magnifications of the distant vision and near vision regions and their difference of the progressive multi-focal lens of the present invention in comparison with those of a prior art progressive multi-focal lens.

[Fig.3]

Fig.3 is a chart to show the difference in magnification between the distant vision and near vision regions of the progressive multi-focal lens of the present invention for each power addition in comparison with that of a prior art progressive multi-focal lens for comparison.

[Fig.4]

Fig.4 is a schematic representation of the progressive multi-focal lens of Embodiment 1 of the present invention: (a) is a front view and (b) is a cross-section along the main meridian curve.

[Fig.5]

Fig.5 is an illustration to show astigmatism of the progressive multi-focal lens shown in Fig.4.

[Fig.6]

Fig.6 is an illustration to show z-coordinates of the eyepoint side surface of the progressive

multi-focal lens shown in Fig.4.

[Fig.7]

Fig.7 is an illustration to show the radius of curvature (reciprocal to the curvature) of the eyepoint side surface along the main meridian curve of the progressive multi-focal lens shown in Fig.4.

[Fig.8]

Fig.8 is an illustration to show the radius of curvature of the eyepoint side surface in the direction orthogonal to the main meridian curve of the progressive multi-focal lens shown in Fig.4: Fig.8 (a) shows the radius of curvature of the distant vision region and Fig.8 (b) shows the radius of curvature of the near vision region.

[Fig.9]

Fig.9 is an illustration to show a 270-degree base prism applied to the progressive multi-focal lens shown in Fig.4: Fig.9 (a) shows the cross-section of the progressive multi-focal lens without the prism and Fig.9 (b) shows the cross-section of the progressive multi-focal lens with the prism.

[Fig.10]

Fig.10 is a schematic representation of the progressive multi-focal lens of Embodiment 2 of the present invention: Fig.10 (a) is a front view and Fig.10 (b) is a cross-section along the main meridian curve.

[Fig.11]

Fig.11 is a chart to show astigmatism of the progressive multi-focal lens shown in Fig.10.

[Fig.12]

Fig.12 is an illustration to show z-coordinates of the eyepoint side surface of the

progressive multi-focal lens shown in Fig.10.

[Fig.13]

Fig.13 is a flowchart to show the production process of the progressive multi-focal lens of the present invention having eyesight correction and astigmatic vision correction capabilities.

[Fig.14]

Fig.14 is a chart to show the difference in magnification between the distant vision and near vision regions of the progressive multi-focal lens of the present invention having eyesight correction and astigmatic vision correction capabilities in comparison with that of a prior art progressive multi-focal lens for comparison.

[Fig.15]

Fig.15 is a schematic illustration of a lens formed by adding the original toric surface to the original progressive refractive surface of Embodiment 2 of the present invention:

Fig.15 (a) is a front view and Fig.15 (b) is a cross-section along the main meridian curve.

[Fig.16]

Fig.16 is an illustration to show astigmatism of the lens shown in Fig.15.

[Fig.17]

Fig.17 is an illustration to show z-coordinates of the eyepoint side surface of the lens shown in Fig.15.

[Fig.18]

Fig.18 is a graphic representation to show the change in astigmatism along the main meridian curve of the progressive multi-focal lens of Embodiment 2 of the present

invention shown in Fig.10 along with those of the prior art progressive multi-focal lens shown in Fig.28 and the lens shown in Fig.15.

[Fig.19]

Fig.19 is an illustration to show astigmatism of another embodiment of the progressive multi-focal lens of the present invention.

[Fig.20]

Fig.20 is an illustration to show astigmatism of a prior art progressive multi-focal lens that corresponds to the progressive multi-focal lens shown in Fig.19.

[Fig.21]

Fig.21 is an illustration to show astigmatism of the progressive multi-focal lens corresponding to the lens in Fig.19, but formed without using the composite expression.

[Fig.22]

Fig.22 is an illustration to show astigmatism of another embodiment of the progressive multi-focal lens of the present invention.

[Fig.23]

Fig.23 is an illustration to show astigmatism of a prior art progressive multi-focal lens that corresponds to the progressive multi-focal lens shown in Fig.22.

[Fig.24]

Fig.24 is an illustration to show astigmatism of the progressive multi-focal lens corresponding to the lens in Fig.22, but formed without using the composite expression.

[Fig.25]

Fig.25 is a schematic representation of a prior art progressive multi-focal lens: Fig.25 (a) is a front view and Fig.25 (b) is a cross-section along the main meridian curve.

[Fig.26]

Fig.26 is an illustration to show astigmatism of the progressive multi-focal lens shown in Fig.25.

[Fig.27]

Fig.27 is an illustration to show z-coordinates of the progressive refraction surface on the object side of the progressive multi-focal lens shown in Fig.25.

[Fig.28]

Fig.28 is a schematic representation of a prior art progressive multi-focal lens for astigmatic vision correction: Fig.28 (a) is a front view and Fig.28 (b) is a cross-section along the main meridian curve.

[Fig.29]

Fig.29 is an illustration to show astigmatism of the progressive multi-focal lens shown in Fig.28.

[Fig.30]

Fig.30 is an illustration to show z-coordinates of the eyepoint side toric surface of the progressive multi-focal lens shown in Fig.28.

[Fig.1]

(from top to bottom)
object side surface
eyepoint side surface
base curve (P_b)
eyepoint
t
prior art progressive multi-focal lens

progressive multi-focal lens of the present invention

L

[Fig.2]

	concave progressive (present invention)	convex progressive (prior art)
distant vision magnification	1.047	1.047
near vision magnification	1.097	1.108
difference	0.050	0.061

[Fig.3]

power addition (D)	concave progressive (present invention)	convex progressive (prior art)
0.50	0.008	0.009
0.75	0.011	0.013
1.00	0.015	0.018
1.25	0.019	0.022
1.50	0.023	0.027
1.75	0.027	0.032
2.00	0.031	0.036
2.25	0.035	0.041
2.50	0.039	0.046
2.75	0.043	0.051
3.00	0.048	0.055
3.25	0.052	0.060
3.50	0.056	0.065

[Fig.4]

- (a) 11 distant vision region; 12 near vision region
- (b) spherical surface; 5 progressive refractive surface

[Fig.5]

[Fig.6]

Z-coordinates (mm)

[Fig.7]

[Fig.8]

[Fig.9]

[Fig.10]

(a) 11 distant vision region; 12 near vision region

(b) spherical surface; progressive refractive surface combined with toric surface

[Fig.11]

[Fig.12] Z-coordinates (mm)

[Fig.13]

ST1 obtain original progressive refractive surface

ST2 obtain original toric surface

ST3 obtain coordinates of the eyepoint side surface

[Fig.14]

	concave progressive (present invention)		convex progressive (prior art)	
	90-degree direction	180-degree direction	90-degree direction	180-degree direction
distant vision magnification	0.976	0.947	0.976	0.947
near vision magnification	1.007	0.976	1.011	0.980
difference	0.091	0.026	0.035	0.033

[Fig.15]

(a) 11 distant vision region; 12 near vision region

(b) spherical surface; progressive refractive surface combined with toric surface

[Fig.16]

[Fig.17]

Z-coordinates (mm)

[Fig.18] change in astigmatism along the main meridian curve
astigmatism (D); Y-axis coordinate (mm)

[Fig.19]

[Fig.20]

[Fig.21]

[Fig.22]

[Fig.23]

[Fig.24]

[Fig.25]

(a) 11 distant vision region; 13 progressive region; 12 near vision region
(b) 5 progressive refractive surface; spherical surface

[Fig.26]

[Fig.27] Z-coordinates (mm)

[Fig.28]

(a) 11 distant vision region; 12 near vision region
(b) 5 progressive refractive surface; 6 toric surface

[Fig.29]

[Fig.30]

Z-coordinates (mm)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-372689

(43)Date of publication of application : 26.12.2002

(51)Int.CI.

G02C 7/06

G02B 3/10

(21)Application number : 2002-117293

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 11.10.1996

(72)Inventor : MUKOYAMA HIROYUKI
KATO KAZUHISA

(30)Priority

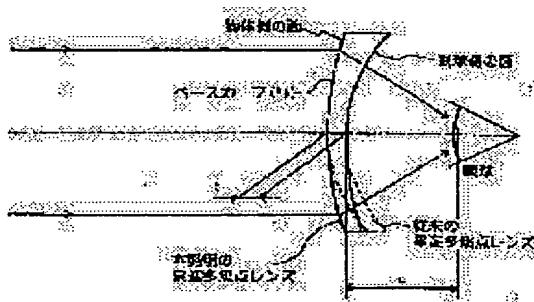
Priority number : 07306189 Priority date : 24.11.1995 Priority country : JP

(54) PROGRESSIVE POWER LENS AND EYEGLASS LENS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a progressive power lens and an eyeglass lens which improves the swinging and the distortion of an image due to the variation of magnification of a distance vision part and a near vision part of the progressive power lens.

SOLUTION: A progressive refracting surface which is attached to the object side surface in the conventional method is formed on the eyeball side surface. Thereby, the object side surface is made in such a manner that a base curve thereof becomes a specified spherical surface, therefore, the variation due to the shape factor of magnification can be prevented, the difference of magnification between the distance vision part and the near vision part can be reduced and the change of magnification of the progressive part can be suppressed. As a result, the swinging and the distortion of the image due to the difference of magnification is reduced and the progressive power lens which can obtain a comfortable field is provided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-372689

(P2002-372689A)

(43)公開日 平成14年12月26日 (2002. 12. 26)

(51) Int.Cl.⁷

G 02 C 7/06

G 02 B 3/10

識別記号

F I

G 02 C 7/06

G 02 B 3/10

テマコト⁷(参考)

2H006

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 18 頁)

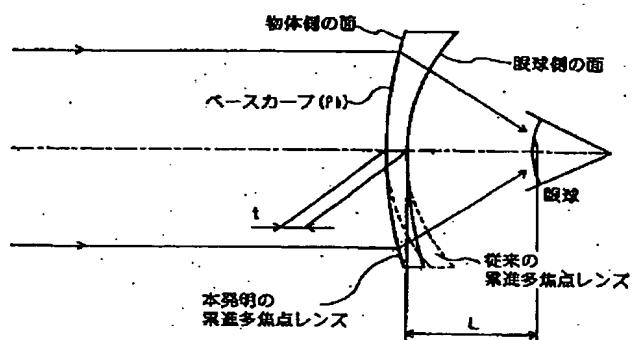
(21)出願番号	特願2002-117293(P2002-117293)	(71)出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(62)分割の表示	特願平9-518047の分割	(72)発明者	向山 浩行 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ ーエプソン株式会社内
(22)出願日	平成8年10月11日(1996. 10. 11)	(72)発明者	加藤 一寿 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ ーエプソン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平7-306189	(74)代理人	100095728 弁理士 上柳 雅善 (外3名)
(32)優先日	平成7年11月24日(1995. 11. 24)	F ターム(参考)	2H006 BD03
(33)優先権主張国	日本 (JP)		

(54)【発明の名称】 累進多焦点レンズ及び眼鏡レンズ

(57)【要約】

【課題】 累進多焦点レンズの遠用部と近用部の倍率の変動に起因する像の歪みや歪みを改善できる累進多焦点レンズ及び眼鏡レンズを提供する。

【解決手段】 従来、物体側の面に付加されていた累進屈折面を眼球側の面に設ける。これにより、物体側の面をベースカーブが一定の球面にできるので、倍率のシェーブ・ファクターによる変動を防止することが可能となり、遠用部と近用部の倍率差を縮小することができ、また、累進部の倍率の変化を抑制することができる。従つて、倍率差による像の揺れや歪みを低減することができ、快適な視野が得られる累進多焦点レンズを提供することができる。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】異なる屈折力を備えた遠用部および近用部と、これらの間で屈折力が累進的に変化する累進部とを備えた視力補正用の累進多焦点レンズにおいて、この累進多焦点レンズの眼球側の面に前記遠用部、近用部および累進部を構成するための累進屈折面の曲率が付加されていることを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項2】請求項1において、前記累進多焦点レンズの物体側の面が球面であることを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項3】請求項1において、前記累進多焦点レンズの物体側の面が回転軸対称非球面であることを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項4】請求項1において、前記累進多焦点レンズの物体側の面が回転対称な面であり、前記遠用部から近用部に向かって延びる主注視線を有し、前記遠用部の前記主注視線の近傍の前記眼球側の面の平均面屈折力D1と、前記近用部の前記主注視線の近傍の前記眼球側の面の平均面屈折力D2との間に次の関係があることを特徴とする累進多焦点レンズ。

$$0.5 \leq (D_1 - D_2) \leq 3.5 \dots (A)$$

【請求項5】請求項1において、前記遠用部から近用部に向かって延びる主注視線を有し、この主注視線に沿った前記累進屈折面の曲率は、前記遠用部と比較し前記近用部の方が小さいことを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項6】請求項1において、前記遠用部から近用部に向かって延びる主注視線を有し、前記遠用部を構成するための前記累進屈折面の曲率は、少なくとも1部の領域で、前記主注視線から離れるに従って小さくなることを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項7】請求項1において、前記遠用部から近用部に向かって延びる主注視線を有し、前記近用部を構成するための前記累進屈折面の曲率は、少なくとも1部の領域で、前記主注視線から離れるに従って大きくなることを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項8】請求項1において、前記遠用部から近用部に向かって延びる主注視線を有し、前記主注視線を構成するための前記累進屈折面の曲率は、少なくとも1部の領域で、直交する2方向の曲率が等しいことを特徴とする累進多焦点レンズ。

【請求項9】請求項1に記載の累進多焦点レンズを眼鏡フレームの形状に合わせて玉型加工した眼鏡レンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、視力補正用の累進多焦点レンズ及びこれを用いた眼鏡レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】累進多

2

焦点レンズは、屈折力の異なる2つの視野部分と、これらの間で屈折力が累進的に変わる視野部分とを備えたレンズであり、これらの視野部分に境目がなく外観的に優れ、さらに、1つのレンズで異なる屈折力の視野を得ることができる。このため、老視などの視力の補正機能を備えた眼鏡レンズとして多く用いられている。図25に、眼鏡レンズとして多く用いられている従来の累進多焦点レンズの一般的な構造を示してある。この累進多焦点レンズ1は、遠距離の物を見るための視野部分である遠用部11が上方に設けられ、近距離の物を見るために遠用部11と異なる屈折力を備えた視野部分が近用部12として遠用部11の下方に設けられている。そして、これら遠用部11と近用部12が、遠距離と近距離の中間距離の物を見るために連続的に変化する屈折力を備えた視野部分である累進部13によって滑らかに連絡されている。

【0003】眼鏡用に用いられる単板のレンズ1においては、眼球側の屈折面2と、注視する物体側の屈折面3の2つの面によって眼鏡レンズに要求される全ての性能、例えば、ユーザーの度数に合った頂点屈折力、乱視を矯正するための円柱屈折力、老視を補正するための加入屈折力、さらには斜位を矯正するためのプリズム屈折力などを付与する必要がある。このため、図25に示すように、従来の累進多焦点レンズ1においては、これら遠用部11、近用部12および累進部13を構成するために連続的に変化する屈折力を与える累進屈折面5が物体側の屈折面3に形成され、眼球側の屈折面2は後述するように乱視矯正用の屈折面などとして用いられている。

【0004】図26に従来の累進多焦点レンズ1で得られる非点収差を示し、図27に従来の累進多焦点レンズ1の物体側の屈折面3に構成された累進屈折面5のz座標の概略分布を示してある。なお、屈折面3において、平面をx y座標として、このx y平面に対し垂直なレンズの厚みを示す方向をz座標とする。xおよびy座標の方向は特に規定する必要はないが、以下においては、眼鏡レンズとして装着したときに上下となる方向をy座標、左右の方向をx座標として説明する。

【0005】累進屈折面5は、屈折力を連続的に変化させるように非球面になるので、面の各領域によって曲率が変化する。従って、図26から判るように、眼球側の面2が球面となった乱視矯正用ではない累進多焦点レンズ1であっても、物体側の面3に累進屈折面5を導入すると、x方向およびy方向の曲率差によって表面に非点収差が発生する。この非点収差をディオプトリ(D)単位で表し、所定のディオプトリの領域を等高線でつないで示したものが図26に示した非点収差図である。

【0006】乱視を伴わない眼鏡の使用者(ユーザー)は、レンズに現れた非点収差が1.0ディオプトリ、望ましくは0.5ディオプトリ以下であれば、像のボケを

(3)

3

それほど知覚せずに明瞭な視覚が得られる。このため、遠用部から近用部に向かって延び、目の輻輳を加味して若干鼻側に曲がった主注視線（へそ状子午線）14に沿って非点収差が1.0ディオプトリあるいは望ましくは0.5ディオプトリ以下となる明視域21を配置してある。特に、この主注視線14の上では、x方向およびy方向の曲率差をほとんど無くして非点収差が発生しないようにしている。従って、主注視線14からレンズ1の周囲に向かって非球面状になるので非点収差が大きく現れる。さらに、このような非点収差が大きく変動する」と、ユーザーが視線を動かしたときに視線に沿って像がゆれて不快感を与える原因となる。このため、視線の動きの大きな遠用部11においては非点収差がそれほど変動しないように設定しており、また、その他の領域においても非点収差が大きく変動しないような累進屈折面5の設計がなされている。そして、レンズ1を眼鏡のフレームに合わせた形状に玉型加工して眼鏡用レンズ9を形成し、ユーザーに提供している。

【0007】図26および図27に示したレンズ1は、累進屈折面5の付加された物体側の面3の基本的な屈折力を示すベースカーブP_bが4.00D、加入度数P_aが2.00V、眼球側の面2の面屈折力D₂が6.00D、レンズの中心厚さtが3.0mm、レンズ径dが70.0mmのレンズである。

【0008】図28に、眼球側の面2に、乱視を矯正するために円柱屈折力Cを備えたトーリック面6が形成された従来の乱視用の累進多焦点レンズ1を示してある。また、図29にこのレンズの非点収差図を示してあり、図30にトーリック面6のz座標を示してある。図29に非点収差を示したレンズは、円柱屈折力Cが-2.00Dのものであり、他の条件は図26に非点収差を示したレンズと同一である。この乱視用の累進多焦点レンズ1は、主注視線14に沿って乱視を矯正するために2.00Dの非点収差がほぼ均等に導入され、上記と同様に眼鏡フレームに沿って玉型加工することにより眼鏡レンズ9を形成することができる。

【0009】このように、累進屈折面を用いて遠用部から近用部に連続的に屈折力が変化する眼鏡用レンズが乱視矯正も含めて市販されており、視力の補正用として多く用いられている。累進多焦点レンズは、視力の補正対象となる度数が大きく、また、遠用部と近用部の屈折力の差である加入度が大きいと、累進屈折面がさらに非球面化されるのでレンズに現れる非点収差も大きなものになる。このため、累進屈折面の形状を改良し、非点収差を通常使用するレンズの領域から外したり、急激な非点収差の変動を防止してユーザーに快適な視野を提供できるようにしている。非点収差の変動を抑制することによ*

$$M_p = 1 / (1 - L \times P_o)$$

$$M_s = 1 / (1 - (t \times P_b) / n) \quad \dots \quad (3)$$

【0016】なお、式(2)および(3)の計算にあた

4

*り像のゆれや歪みを改善できるが、累進多焦点レンズにおいては、遠用部と近用部の屈折力（パワー）の違いによっても像のゆれや歪みが発生する。すなわち、遠用部11は遠方に焦点が合うような屈折力を備えており、一方、近用部12は近傍に焦点が合うように遠用部11と異なる屈折力を備えている。従って、累進部13においては、倍率が徐々に変動するので、得られる像が揺れたり歪んだりするもう1つの主な原因となっている。

【0010】累進屈折面の設計においては、多種多様な提案がすでになされ、また、コンピュータの計算能力を生かした設計も盛んに行われており、累進屈折面の非点収差を改善して像のゆれや歪みを抑制するのはほぼ限界に達していると考えられる。そこで、本発明においては、累進多焦点レンズの遠用部と近用部の倍率の変動に起因する像の歪みや歪みを改善できる累進多焦点レンズを提供することを目的としている。そして、現状、累進屈折面の設計では限界に達しつつある像の揺れ・歪みをさらに大幅に低減でき、ユーザーに対しさらに快適な視野を提供できる累進多焦点レンズおよび眼鏡レンズを提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】このため、本願の発明者らは、累進多焦点レンズの倍率に与える累進屈折面の配置に着目し、累進屈折面を眼球側の面にもってくることにより、遠用部と近用部における倍率の差を縮小でき、これに起因する像の揺れや歪みを大幅に低減できることを見いだした。すなわち、本発明の、異なる屈折力を備えた遠用部および近用部と、これらの間で屈折力が累進的に変化する累進部とを備えた視力補正用の累進多焦点レンズにおいては、累進多焦点レンズの眼球側の面に遠用部、近用部および累進部を構成するための累進屈折面の曲率が付加されていることを特徴としている。

【0012】レンズの倍率SMは、一般的に次の式で表される。

$$【0013】SM = M_p \times M_s \quad \dots \quad (1)$$

【0014】ここで、M_pはパワー・ファクター、また、M_sはシェーブ・ファクターと呼ばれ、図1に示すように、レンズの眼球側の面の頂点（内側頂点）から眼球までの距離をL、内側頂点の屈折力（内側頂点屈折力）をP_o、レンズ中心の厚みをt、レンズの屈折率をn、レンズの物体側の面のベースカーブ（屈折力）をP_bとすると以下のように表される。

【0015】

$$\dots \quad (2)$$

【0016】なお、式(2)および(3)の計算にあたっては、内側頂点屈折力P_oおよびベースカーブP_bに

(4)

5

についてはディオプトリ (D) を、また、距離 L および厚み t についてはメートル (m) を用いる。

【0017】遠用部および近用部において視力の補正に寄与するのは内側頂点屈折力 P_o であり、同一の内側頂点屈折力 P_o の得られるレンズであれば、物体側の面のベースカーブ P_b の変動を抑制することにより、倍率 S_M の変化を抑えられることが判る。例えば、凸面となる物体側の面のベースカーブ P_b を一定にすれば、シェープ・ファクター M_s による倍率 M_s の変動をなくすことができる。しかしながら、図1に破線で示したように、累進屈折面を物体側の面に設けたのでは、物体側のベースカーブ P_b を一定することはできず、さらに、加入度が大きくなるにつれてシェープ・ファクター M_s の変動も大きくなり像の揺れや歪みが増大する。そこで、本発明においては、累進屈折面をレンズの凹面となる眼球側の面に持ってくることにより、図1に実線で示したように物体側の面のベースカーブ P_b の変動を抑制し、例えば、ベースカーブが一定となる球面の累進多焦点レンズを提供できるようにしている。従って、本発明の累進多焦点レンズにおいては、遠用部と近用部の倍率差を必要最小限に止めることができ、また、累進部における倍率の変動も抑制できるので、像の歪みや揺れを低減することが可能となる。このため、本発明により、非点収差による性能は従来の累進多焦点レンズと同程度であっても、像のゆれ・ゆがみが低減された累進多焦点レンズおよび眼鏡レンズを提供することができ、ユーザーにさらに快適な視野を提供することができる。特に、加入度の大きな累進多焦点レンズにおいては、ゆれ・ゆがみを大幅に低減することができる。

【0018】図2に、ベースカーブ P_d が5.00D、加入度 P_a が3.00D、球面屈折力 S が2.00D、屈折率 n が1.662、距離 L が15.0mmの本発明の累進多焦点レンズで得られる倍率を例として、従来の物体側に累進屈折面を備えた累進多焦点レンズで得られる倍率と比較して示してある。本図から判るように、本発明の累進多焦点レンズにおいては、遠用部と近用部の倍率差が従来の倍率差の80%に抑制できており、大幅に像の揺れや歪みを防止できることが判る。

【0019】さらに、図3に示すように、加入度 P_a が大きくなるにつれて、この効果は顕著である。図3は、上記のレンズに対してベースカーブ P_d を4.00D、球面屈折力 S を0.00Dとした本発明に係る眼球側の面(凹面)に累進屈折面を設けた累進多焦点レンズの遠用部と近用部の倍率差を例として示してある。また、これと比較できるように、物体側の面(凸面)に累進屈折面を設けた従来の累進多焦点レンズの遠用部と近用部の倍率差も示してある。本図から判るように、本発明の累進多焦点レンズにおいては、加入度 P_a にして1ランク(P_a の差が0.25D程度)下から高加入度においては2ランク下の従来の累進多焦点レンズと同じ程度の倍

(4)

6

率差にすることが可能であり、その結果、ユーザーが得る像の揺れや歪みにおいても、従来の1ランクあるいは2ランク下の加入度のレンズと同程度に抑制することができる。

【0020】本発明の累進多焦点レンズにおいては、眼球側の面に累進屈折面の曲率を付与するために、主注視線に沿った累進屈折面の曲率(曲率半径の逆数)は、遠用部と比較し近用部の方が小さくなる。また、遠用部においては少なくとも1部の領域で累進屈折面の曲率が主注視線から離れるに従って小さくなっている、また、近用部においては少なくとも1部の領域で累進屈折面の曲率が主注視線から離れるに従って大きくなる。

【0021】また、老視が殆ど進んでいないユーザーから、老視が進み調整力のほとんど無くなったユーザーまでの広い範囲に対して加入度が0.5~3.5の範囲の累進多焦点レンズで対応することが可能であり、図3に示したように、この範囲において本発明の累進多焦点レンズにおいては像の揺れや歪みの改善に大きな効果が得られることが判る。この範囲の加入度は、本発明の累進多焦点レンズの物体側の面が回転対称な面のときに、遠用部の主注視線の近傍の眼球側の平均面屈折力 D_1 と、近用部の主注視線の近傍の眼球側の平均面屈折力 D_2 を用いて次のように表される。

【0022】

$$0.5 \leq (D_1 - D_2) \leq 3.5 \quad \dots \quad (4)$$

【0023】さらに、累進屈折面としては、主注視線上において累進屈折面を構成する上での非点収差を最小限にすることが望ましく、そのためには、主注視線の少なくとも1部の領域で、累進屈折面の曲率は直交する2方向の曲率が等しくなるようにすることが望ましい。

【0024】本発明の累進多焦点レンズにおいては、眼球側の面に累進屈折面を設けるので、眼球側の面に乱視矯正用のトーリック面の曲率も付加することにより、眼球側の面が乱視矯正特性を有する乱視矯正用の累進多焦点レンズを提供することができる。すなわち、眼球側の面が累進屈折面であり、さらに、円柱屈折力を有する累進多焦点レンズを提供することができる。そして、本発明の乱視矯正特性を備えた累進多焦点レンズを眼鏡レンズとして採用することにより、眼球側の面に累進屈折面を設けてあるので上述したように遠用部と近用部の倍率差を必要最小限に止めることができ、乱視を矯正することができるると共に像の歪みや揺れが少なく、乱視を有するユーザーに対してもさらに快適な視野を提供することができる。

【0025】眼球側の面に視力補正特性と乱視矯正特性とが付加された累進多焦点レンズは、眼球側の面が所望の視力補正特性を発揮することのみを目的として累進屈折面(以降においてはオリジナル累進屈折面)の曲率を求める第1の工程と、眼球側の面が所望の乱視矯正特性を発揮することのみを目的としてトーリック面(以降に

(5)

8

おいてはオリジナルトーリック面)の曲率を求める第2の工程と、累進多焦点レンズの眼球側の面を、オリジナル累進屈折面の曲率およびオリジナルトーリック面の曲率とを合成して求める第3の工程とを有する製造方法を用いることにより製造することができる。オリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面とが合成された累進屈折面を眼球側の面に持ってくることにより、トーリック面を用いた乱視の矯正機能、および乱視の矯正以外の累進屈折面を用いた視力補正機能の両者を備え、さらに、ゆれや歪みの少ない累進多焦点レンズを実現することができる。

【0026】上述した第3の工程において、乱視矯正特性を備えたオリジナルトーリック面を構成するためのz座標の値に、視力補正特性を備えたオリジナル累進屈折面を構成するz座標の値を付加して乱視矯正特性を備えた累進屈折面を構成することも可能である。しかしながら

$$Z = \frac{(C_p + C_x)X^2 + (C_p + C_y)Y^2}{1 + \sqrt{(1 - (C_p + C_x)^2 X^2 - (C_p + C_y)^2 Y^2)}}$$

・・・(5)

【0028】ここで、眼鏡装用状態において、物体側から眼球側に累進屈折面の中心を通る軸をz軸、下方から上方に向かい z 軸に直交する軸をy軸、左から右に向かい z 軸に直交する軸をx軸としたとき、XおよびYは、それぞれ眼球側の面のxおよびy座標の任意の点の座標を示し、Zは眼球側の面の垂直方向のz座標を示す。また、曲率C_pは、オリジナル累進屈折面の任意の点p(X, Y, Z)における近似曲率であり、曲率C_xは乱視矯正用のトーリック面のx方向の曲率、曲率C_yはy方向の曲率である。なお、本例においては、近似曲率C_pとして半径方向の平均曲率を採用しており、オリジナル屈折面上の任意の点p(X, Y, Z)を含みz軸(レンズ中心または内側頂点(0, 0, 0)を通る)に垂直なxy平面において、点pと回転対称にある点p'(-X, -Y, Z)および内側頂点(0, 0, 0)の3点を通る円の半径の逆数を用いている。ただし、オリジナル累進屈折面上の点pが内側頂点に位置するときは、半径方向平均曲率C_pを定義しないで(5)式においてZ=0としている。

【0029】本発明においては、このような合成式(5)を採用することにより、眼球側の面にオリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面の特性を付加することが可能である。従って、眼球側に視力補正用の累進屈折面を備えた累進多焦点レンズ、さらに、眼球側に視力補正用と乱視矯正用の両者の特性を有する累進屈折面を備えた累進多焦点レンズを提供することができる。乱視を持たないユーザーから乱視の矯正が必要なユーザーまでの範囲をカバーできる幅広い範囲の眼鏡レンズを実現できる。このため、全てのユーザーに対し累進多焦点レンズを用いた揺れや歪みの少ない眼鏡レンズを

* ら、本願発明者が検討した結果によると、従来の物体側が累進屈折面で眼球側がトーリック面の乱視矯正用の累進多焦点レンズと同等の乱視を矯正する性能(非点収差特性)を得るためにには、次の式(5)に示すような合成式を用いて累進屈折面を構成することが望ましい。すなわち、第3の工程では、累進多焦点レンズの眼球側の面の任意の点P(X, Y, Z)における値Zを、オリジナル累進屈折面の近似曲率C_p、オリジナルトーリック面のx方向の曲率C_xおよびy方向の曲率C_yとを用いて次の式(5)によって求めることにより、従来の累進多焦点レンズと同等の乱視を矯正する能力と視力を補正する能力を備え、さらに、倍率差が小さく揺れや歪みの改善された乱視矯正用の累進多焦点レンズを提供することができる。

【0027】

【数1】

20 シリーズ化して市場に提供することが可能になる。

【0030】また、眼球側に累進屈折面を設けた累進多焦点レンズにおいても、基底270度方向のプリズムを付加することにより、薄型化することが可能である。また、遠用部の頂点屈折力P_sと、加入屈折力(加入度)P_aと、累進多焦点レンズの物体側の面の屈折力(ベースカーブ)P_bが次の式を満足するように設定することにより、眼鏡レンズに適したメニスカスレンズとして本発明の眼球側に累進屈折面を備えた累進多焦点レンズを提供することができる。

【0031】P_b > P_s + P_a ・・・(6)

【0032】

【発明の実施の形態】以下に、本発明に基づき設計した幾つかの累進多焦点レンズに基づき、本発明をさらに詳しく説明する。

【実施例1】

【0033】図4に、本発明の眼球側の面2に累進屈折面5を設けた累進多焦点レンズ10を示してある。本例の累進多焦点レンズ10は、図25に示した従来の累進多焦点レンズと同様に、上方に遠距離の物を見るための

40 視野部分である遠用部11が設けられ、下方に近距離の物をみるために遠用部11と異なる屈折力を備えた視野部分が近用部12として設けられており、さらに、これら遠用部11と近用部12を連続的に屈折力が変化する累進部13によって滑らかに連絡された累進多焦点レンズである。本例の累進多焦点レンズ10は、遠用部11、近用部12および累進部13を構成するために非球面となる累進屈折面5を眼球側の面2に設けてある。このため、物体側の面3はベースカーブP_dが一定となる球面に成形することができる。従って、上記において、式(1)～(3)を用いて説明したように、遠用部11

(6)

9

と近用部12の倍率差が小さくなつており、累進部13においては倍率が変化する割合を小さくすることができる。従つて、従来の物体側の面に累進屈折面を設けた累進多焦点レンズに比べ、倍率差に起因する像の揺れや歪みを大幅に低減することができる。

【0034】図5および図6に、眼球側の面2に累進屈折面を設けた本発明の累進多焦点レンズ10の非点収差図と、眼球側の面2、すなわち、累進屈折面5のz座標を示してある。本例の累進多焦点レンズ10は、先に図26および図27に基づき説明した、物体側の面3に累進屈折面を設けた従来の累進多焦点レンズと同程度の非点収差が得られるように設計されている。図5および図6に示した本例の累進多焦点レンズ10は、物体側の面3が球面であり、その屈折力を示すベースカーブPbは4.00Dに一定となっている。眼球側の面2については、遠用部11の平均面屈折力が6.00D、近用部12の平均面屈折力が4.00Dであり、加入度数Paが2.00Dに設定されている。また、遠用部11の球面屈折力Sは-2.00Dで、レンズの中心厚さtが3.0mm、レンズ径dが70.0mmとなっている。このような条件下で図4に示したような累進屈折面5を眼球側の面2に設けることができ、その結果、図5に示すような非点収差を持った累進多焦点レンズ10を得ることができる。図5に示した本例の累進多焦点レンズ10の非点収差は、図26に示した従来の累進多焦点レンズの非点収差とほぼ同じであり、眼球側の面2に累進屈折面5を設けても非点収差に関しては従来の物体側の面3に累進屈折面を設けた累進多焦点レンズと同等の性能を持つた累進多焦点レンズ10を実現できることが判る。

【0035】従つて、本例の累進多焦点レンズ10は、非点収差については、従来と同等の性能を備え、明視領域が十分に確保され、非点収差の変動に起因する像の歪みや揺れの少ない累進多焦点レンズである。さらに、遠用部11と近用部12との倍率差について比較すると、本例の累進多焦点レンズ10においては、遠用部11の倍率が0.976、近用部12の倍率が1.007であり、その差は0.031である。これに対し、図25に示した従来の物体側に累進屈折面が設けられたレンズ1においては、遠用部の倍率が0.976、近用部の倍率が1.011であり、その差は0.035である。従つて、本例の累進多焦点レンズ10においては、遠近の倍率差が従来の12~13%程度改善できていることが判る。このように倍率差が縮小されることにより、本例の累進多焦点レンズ10においては、倍率差に起因して累進多焦点レンズに起きた像の揺れや歪みを従来にも増して改善することが可能になる。このため、本例の累進多焦点レンズ10を眼鏡フレームに合わせて玉型加工することにより、明るく、揺れや歪みが大幅に改善された眼鏡レンズ9を提供することができる。

【0036】本例の眼球側の面2に設けられた累進屈折

10

面5についてさらに説明する。図7に主注視線14に沿った累進屈折面5の曲率半径の変化を示してある。本図のz座標は、注視する物体の方向を負に、眼球の方向を正に設定してある。主注視線14に沿った累進屈折面5の曲率半径のうち、上方の遠用部11を構成する曲率半径をr1、近用部12を構成する曲率半径をr2とする、眼鏡用の累進多焦点レンズにおいては遠用部11の屈折力の値は近用部12の屈折力の値より小さく、すなわち、遠用部11の屈折力の値から近用部12の屈折力の値を差し引くと負になるように設定してあるので、本例の累進多焦点レンズ10の曲率半径r1は曲率半径r2より小さくなる。従つて、それぞれの曲率半径r1およびr2の逆数である曲率C1およびC2で表すと、遠用部11の曲率C1と近用部12の曲率C2は次の関係を満たす必要がある。

【0037】 $C_1 > C_2 \quad \dots (7)$

【0038】また、遠用部11の主注視線14に対して直交する方向15の曲率半径は、図8(a)に示すように、曲率半径の大きな近用部12と連続的な累進部13を構成するために主注視線14から離れるに従つて大きくなる領域を備えている。一方、近用部12の主注視線14に対して直交する方向16の曲率は、図8(b)に示すように曲率半径の小さな遠用部11と連続的な累進部13を構成するために主注視線14から離れるに従つて小さくなる領域を備えている。すなわち、遠用部11の主注視線14と直交する方向15において、主注視線14の近傍の曲率半径をr3、主注視線14から5~35mm程度はなれた領域の曲率半径をr4とすると曲率半径r3はr4と同じあるいは小さくなる。これを曲率半径r3およびr4の逆数である曲率C3およびC4で表すと、遠用部11においては、主注視線14の近傍の曲率C3に対し主注視線14から離れた領域の曲率C4は次の関係を満たす。

【0039】 $C_3 \geq C_4 \quad \dots (8)$

【0040】遠用部11を構成する眼球側の面2を球面として遠用部11に広い明視域を確保し、累進部13を近用部12の近傍に集中することももちろん可能であり、この場合は、遠用部11においては、曲率C3と曲率C4が等しくなる。一方、近用部12の主注視線14と直交する方向16において、主注視線14の近傍の曲率をr5、主注視線14から5~35mm程度はなれた領域の曲率をr6とすると曲率r5はr6と同じあるいは大きくなる。従つて、曲率半径r5およびr6の逆数である曲率C5およびC6で表すと、近用部12においては、主注視線14の近傍の曲率C5に対し主注視線14から離れた領域の曲率C6は次の関係を満たす。

【0041】 $C_5 \leq C_6 \quad \dots (9)$

【0042】近用部12においても、眼球側の面2を球面として近用部12に広い明視域を確保し、累進部13を遠用部11の近傍に集中することが可能であり、この

(7)

11

場合は、近用部12においては、曲率C5と曲率C6が等しくなる。なお、主注視線14に対し水平側方に向かった上記(8)および(9)式の曲率半径の変化は、主注視線14に直交する方向15および16の曲率を例にとって説明したが、特に方向に対し厳密な限定ではなく、主注視線14から遠ざかるにつれ平均的な曲率が上記(8)および(9)式を満足していれば良い。

【0043】本例の眼鏡レンズ9をユーザーが装着した場合は、主注視線14に沿って眼球が動くことが多い。このため、乱視の矯正を必要としない累進多焦点レンズ10においては、像の歪みや揺れを防止するために主注視線14をへそ点の集合で構成することが望ましい。従って、上述した各曲率C1、C2、C3およびC5の間に次の関係が成り立つ。

【0044】

$$C_1 = C_3$$

$$C_2 = C_5 \quad \dots \quad (10)$$

【0045】このとき、主注視線14に沿った遠用部1の眼球側の面2の平均面屈折力D1と、近用部12の眼球側の面2の平均面屈折力D2は次の式で表される。

【0046】

$$D_1 = (n - 1) \times C_1$$

$$D_2 = (n - 1) \times C_2 \quad \dots \quad (11)$$

ここで、nは本例の累進多焦点レンズ10を構成するレンズ材の屈折率である。

【0047】本例の累進多焦点レンズ10は、物体側の面3が球面で構成されているので、加入度Pdは遠用部11の平均面屈折力D1と近用部12の平均面屈折力D2の差で表すことができる。さらに、式(7)に示したように遠用部11の曲率C1が近用部12の曲率C2よりも大きいので、眼球側の面2においては、遠用部11の平均面屈折力D1は近用部12の平均面屈折力D2よりも大きくなる。上記において図3に基づき説明したように、本発明の累進多焦点レンズ10を用いることにより、調整力のほとんどないユーザー用の加入度が3.5ディオptriの累進多焦点レンズから、老視がほとんど進んでいない加入度が0.5ディオptriの累進多焦点レンズの広い範囲内で、遠用部11と近用部12の倍率差を縮小することができ、像の揺れや歪みを抑制してユーザーに快適な視野を提供することができる。例えば、調節力の全く無い装用者でも3.50ディオptriであれば無限遠方から約30cmまでを明視できる。この加入度の範囲を遠用部11および近用部12の平均面屈折力D1およびD2を用いて示すと、先に説明したように次の式(4)となる。

【0048】

$$0.5 \leq (D_1 - D_2) \leq 3.5 \quad \dots \quad (4)$$

【0049】乱視の矯正を行うためにトーリック面が眼球側の面2に付加された場合は、次の実施例に示すように主注視線14はへそ点の集合とはならず、乱視を矯正

12

するために主注視線14に沿ってほぼ一定の非点収差が付加される。

【0050】また、詳しくは特公平2-39768号に開示されているように、眼鏡レンズをより薄型化し、また、規格化するなどの原因により主注視線14に沿って屈折力に方向性が生じてしまう場合は、その屈折力による非点収差を打ち消す方向に、曲率差による非点収差を発生させることができ望ましい。従って、このような場合は、主注視線14に沿った曲率C1およびC2と、これに直交する方向の曲率C3およびC5に差を設けることが望ましい。本例の眼球側の面2に累進屈折面5を設けた累進多焦点レンズ10においては、レンズ外周部にゆくほど主注視線14に沿った屈折力Ptの方が直交する方向の屈折力Psよりも一般にプラスの度数が得られるようになる。従って、このような場合は、屈折力PtおよびPsによる非点収差を打ち消すために、以下の式(12)に示すように、主注視線14に沿った曲率C1およびC2を、直交する方向の曲率C3およびC5よりも若干大きくすることが望ましい。

【0051】

$$C_1 > C_3$$

$$C_2 > C_5 \quad \dots \quad (12)$$

【0052】また、図9(a)に示すように、本例の累進多焦点レンズ10は、眼球側の面2が累進屈折面5になっているので近用部12に対し遠用部11のレンズが厚くなる。従って、累進多焦点レンズ10を薄く、軽くするためには、視力矯正を目的としない基底270度方向のプリズムを附加することが望ましい。これにより、図9(b)に示すように非常に薄い累進多焦点レンズ10を実現することができる。なお、プリズム基底の方向は、レンズの眼球側の面2に垂直に入射した光線がプリズム効果によって振れる方向を、物体側の面3から見て水平線を基準に反時計回りの角度で示している。また、この際に付加するプリズム量は、0.25~3.00プリズムディオptriの間で、ユーザーに対し最適な値を選択することができる。

【0053】また、本例の累進多焦点レンズ10において、眼鏡レンズに適した物体側の面3が凸面で、眼球側の面2が凹面とするためには、遠用部11の内側頂点の屈折力(頂点屈折力)Psと、加入屈折力(加入度)Paと、累進多焦点レンズの物体側の面2の屈折力(ベースカーブ)Pbが上述した次の式(6)を満足するよう設定する必要がある。

$$Pb > Ps + Pa \quad \dots \quad (6)$$

【0055】この式(6)を満足するように頂点屈折力Ps、加入度PaおよびベースカーブPbを選択することにより、メニスカス形状の累進多焦点レンズ10とすることができ、顔面にフィットする眼鏡レンズを提供できる。

【実施例2】

(8)

13

【0056】図10に、本発明の眼球側の面2に累進屈折面5およびトーリック面6の特性を設けた累進多焦点レンズ10を示してある。なお、以降においては、眼球側の面2に形成される視力補正特性および乱視矯正特性の両方の機能を備えた本例の累進屈折面と区別するために、眼球側の面が所望の視力補正特性（乱視矯正特性以外の特性）を発揮することのみを目的として設定された累進屈折面をオリジナル累進屈折面と呼び、眼球側の面が所望の乱視矯正特性を発揮することのみを目的として設定されたトーリック面をオリジナルトーリック面と呼ぶことにする。

【0057】本例の累進多焦点レンズ10は、図13にフローチャートを用いて示すような手順で設計され製造される。まず、ステップST1において、ユーザーの老

(8)

14

* 視の程度や眼鏡の使い方などの状況に合わせたパラメータによってオリジナル累進屈折面を求め、その結果を座標あるいは曲率などとして記憶する。これと前後して、ステップST2において、ユーザーの乱視を矯正するためのオリジナルトーリック面を求め、その結果を曲率として記憶する。もちろん、座標として記憶することも可能である。そして、ステップST3において、ステップST1およびST2の結果を用いて、視力補正特性および乱視矯正特性を備えた眼球側の面の各座標を求める。

10 本例においては、ステップST3において、上述したような次の合成式(5)を用い眼球側の面2のz座標の値Zを求めていく。

【0058】

【数2】

$$Z = \frac{(Cp + Cx)X^2 + (Cp + Cy)Y^2}{1 + \sqrt{1 - (Cp + Cx)^2 X^2 - (Cp + Cy)^2 Y^2}}$$

... (5)

【0059】そして、この合成式(5)を用いることにより、図28に示した従来の累進多焦点レンズと同様に、視力の補正のために乱視の矯正を行う機能を備えた累進多焦点レンズを提供できるようにしている。

【0060】図11に、図29に示した物体側の面3に累進屈折面を設け眼球側の面2にトーリック面を設けた従来の累進多焦点レンズに対応する、本発明の累進多焦点レンズ10の非点収差図を示してある。また、図12に本例の累進多焦点レンズ10のz座標の値を示してある。上記の式(5)を用いて図6に示したオリジナル累進屈折面5と、図30に示したオリジナルトーリック面6を合成することにより、図12に示したようなz座標の値Zを備えた眼球側の面2を合成することができる。この眼球側の面2と球面状の物体側の面3を用いて本例の累進多焦点レンズ10が形成されており、図11に示すような図29とほぼ同一の非点収差特性を備えた乱視矯正用の累進多焦点レンズを得ることができる。従って、本発明により、物体側の面3に累進屈折面が設けられ眼球側の面2にトーリック面が設けられた従来の累進多焦点レンズと同等の視力補正能力と乱視矯正能力を備えた累進多焦点レンズ10を得ることができる。

【0061】このように、本例においては、眼球側の面に視力補正用の累進屈折面の曲率に加え乱視矯正用のトーリック面の曲率を付加でき、眼球側の面が乱視矯正特性も有するように、すなわち、円柱屈折力を有するようにすることができる。従って、視力補正能力と乱視矯正能力を備えた累進屈折面を眼球側に用意できるので、視力補正能力と乱視矯正能力に加え、遠用部11と近用部12の倍率差を少なくでき、像の揺れや歪みが改善された累進多焦点レンズ10を提供することができる。本例の累進多焦点レンズ10の遠近の倍率差は、図14に示すように、従来のレンズと比較すると、90度方向およ

び180度方向のいずれにおいても12~13%は改善できており、本発明により、乱視矯正用の累進多焦点レンズにおいても、揺れや歪みを少なくできることが判る。従って、本例の累進多焦点レンズ10を眼鏡フレームに沿って玉型加工することにより、視力と乱視を矯正でき、像の揺れや歪みの非常に少ない眼鏡レンズ9を提供することが可能となる。このため、本発明の眼鏡レンズ9により、乱視を持ったユーザーに対しても快適な視野を提供することができる。

【0062】なお、図11および図12に示した累進多焦点レンズ10は、物体側の面3の屈折力を示すベースカーブPbは4.00Dで一定となっている。眼球側の面2は、トーリック面を合成する前の累進屈折面5が実施例1と同じく遠用部11の平均面屈折力が6.00D、近用部12の平均面屈折力が4.00D、加入度数Paが2.00Dに設定されており、これに対し、乱視軸が90度で、球面屈折力Sが-2.00D、円柱屈折力Cが-2.00Dのトーリック面が合成されている。また、レンズの中心厚さtが3.0mm、レンズ径dが70.0mmとなっている。

【0063】図15に、上記の合成式(5)を用いる代わりに、図6に示したオリジナル累進屈折面のz座標の値に、図30に示したオリジナルトーリック面のz座標の値を加えて眼球側の面2を形成した累進屈折面を備えたレンズ19を示してある。また、図16にこのレンズ19の非点収差図を示し、図17にこのレンズ19の眼球側の面2のz座標を示してある。オリジナル累進屈折面のz座標の値に、オリジナルトーリック面のz座標の値を加えることによっても視力補正特性および乱視矯正特性を備えた累進屈折面を形成することは可能である。しかしながら図16から判るように、上述した合成式(5)を用いない場合は、図29に示した従来の乱視矯正用の累進多焦点レンズと同等の非点収差を得ることが

(9)

15

難しく、従来の乱視矯正用の累進多焦点レンズと全く同等の視力の補正と乱視矯正能力は得にくいことが判る。

【0064】この様子は、図18に示したそれぞれの累進多焦点レンズの主注視線14に沿った非点収差の変化にも現れている。図18には、図29に示した従来の乱視矯正用の累進多焦点レンズ1の主注視線14に沿った非点収差の絶対値を黒丸の破線31で示してあり、合成式(5)を用いて形成した図11の乱視矯正用の累進多焦点レンズ10の主注視線14に沿った非点収差の絶対値を黒丸の実線32で示してある。本図から判るように、合成式(5)を用いて眼球側の面2を合成した本例の累進多焦点レンズ10においては、主注視線のほぼ全域にわたって従来の累進多焦点レンズ1と同様に、乱視矯正を目的とした視力補正能力を害することのない2Dの非点収差が非常に安定して確保できている。これに対し、オリジナル累進屈折面の座標にオリジナルトーリック面の座標を単純に加えた図16のレンズ19の累進屈折面においては、図18に黒四角の破線33で示すように、主注視線に沿って乱視矯正を目的とした2Dの非点収差が得られてはいるが、合成式(5)を用いたレンズ10に比較すると安定した非点収差を確保することが難しくなっている。特に、レンズ19の周辺部において非点収差の変動が大きく、乱視矯正用の非点収差を確保することが難しい。また、非点収差の変動も比較的大きいので、合成式(5)を用いて製造した累進多焦点レンズ10と比較すると主注視線に沿って眼球を動かした際に像が揺れたり歪みやすい。このように、合成式(5)を用いてオリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面とを合成することにより、いっそう快適で揺れの少ない視野の確保された累進多焦点レンズを提供できることが判る。

【0065】なお、上記では、レンズの上下方向(Axis 90度)にトーリック面の球面屈折力を設定した処方を施した場合(すなわち、レンズの左右方向にトーリック面の円柱屈折力を設定した処方を施した場合)を例に示しているが、本発明はこれに限定されることはもちろんである。すなわち、x y 軸の方向は上述した方向にかぎらず、適当な方向に設定できることができ、その座標系で上述した処理を行うことができる。例えば、レンズの左右方向にトーリック面の球面屈折力を設定した処方を施す場合であっても、それに合わせて x y 座標の x 軸と y 軸の方向を上記に示した例に対しそれぞれ左に90度回転させる操作を施すだけで本実施例の式(5)を用いた合成方法を適用することができる。さらに、レンズの任意の方向(斜めの方向を含む)にトーリック面の球面屈折力を設定した処方を施す場合であっても x y 座標の x 軸と y 軸の方向を上記に示した例に対しそれぞれ左に α 度(α は0~360度の任意の角度)回転させる操作を施すだけで本実施例の式(5)を用いた合成方法を適用できる。

16

【0066】このような場合には、まず、実施例1に示すような乱視矯正能力をもたない累進屈折面(オリジナル累進屈折面)を決定する工程を行なうことは上述した通りである。そして、その後の式(5)の計算にあっては、オリジナル累進屈折面を表現する座標系とトーリック面を表現する座標系とに同じ座標系を用いる必要がある。従って、乱視矯正能力を持たないオリジナル累進屈折面の決定にあたっては、トーリック面の表現に合致した座標系、すなわち、トーリック面の球面屈折力を設定した方向を加味して上記の例に対し左に α 度回転した座標系を用いて、乱視矯正能力を持たないオリジナル累進屈折面を表現できるようにすることができる計算を簡便にする点から望ましい。

【その他の実施例】

【0067】図19から図24に、他の条件で本発明の合成式(5)を用いて乱視矯正用の累進多焦点レンズ10を形成した例を示してある。図19は、オリジナル累進屈折面5とオリジナルトーリック面6が最も球面に近い状態のものを合成式(5)で合成して形成した本発明の累進多焦点レンズ10の非点収差を示してある。本例の累進多焦点レンズ10は、球面屈折力Sが0.00D、円柱屈折力Cが-0.25D、乱視軸45度および加入度Paが0.50Dで設計されており、図20に同じ条件で設計された従来の累進多焦点レンズ1の非点収差を示してある。図19および図20を比較して判るよう、合成式(5)を用いることにより、従来の累進多焦点レンズ1とほぼ同等の非点収差を持った累進多焦点レンズ10が得られており、視力の補正と乱視矯正の能力については従来と同等の性能を持った累進多焦点レンズを得ることができる。さらに、本例の累進多焦点レンズ10は、眼球側の面2に累進屈折面5とトーリック面6の機能を発揮する曲率を付与してあるので、物体側の面3はベースカーブが一定した球面にすることができる。従って、上述した実施例と同様に遠用部と近用部との倍率差を小さくでき、また、累進部の倍率変動も小さくできるので像の揺れや歪みの少ない快適な視野をユーザーに提供することができる。

【0068】この例においても、オリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面のz座標の値を単純に加算して眼球側の面2を形成したレンズ19の非点収差を図21に示してある。この図に示した非点収差の状態を図19および図20の非点収差の状態と比較すると、合成式(5)を用いることにより、非点収差においては従来の累進多焦点レンズ1と同様の性能を備えたレンズを提供できることが判る。従って、本発明により像の揺れや歪みを小さくできるので、従来の累進多焦点レンズに比べいっそう快適に眼鏡レンズとして装着できる累進多焦点レンズを提供することができる。

【0069】図22は、オリジナル累進屈折面5とオリジナルトーリック面6が最も球面から離れた状態のもの

(10)

17

を合成式(5)で合成して形成した本発明の累進多焦点レンズ10の非点収差を示しており、合成された眼球側の面2のz座標の変動が最も大きくなる本発明の累進多焦点レンズの例である。本例の累進多焦点レンズ10は、球面屈折力Sが0.00D、円柱屈折力Cが-6.00D、乱視軸45度および加入度Paが3.50Dで設計されており、図23に同じ条件で設計された従来の累進多焦点レンズ1の非点収差を示してある。図22および図23を比較して判るように、合成式(5)を用いることにより、本例においても従来の累進多焦点レンズ1とほぼ同等の非点収差を持った累進多焦点レンズ10を得ることができる。このように、本発明の合成式

(5)は、加入度Paが0.5~3.5Dの累進屈折面5と、円柱屈折力Cが0.25~6.00Dのトーリック面6の全ての範囲の面を合成するのに有効である。従って、本発明の合成式(5)を用いることにより、眼球側の面2に累進屈折面を備え、像の揺れや歪みが大幅に改善された乱視矯正用の累進多焦点レンズを提供することができる。

【0070】この例においても、図24に累進屈折面とトーリック面のz座標を加算して眼球側の面2を形成したレンズ19の非点収差を示してある。本図から判るように、本例においてもオリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面のz座標をえたレンズと比較し、合成式(5)を用いることにより、より非点収差の改善された内面累進多焦点レンズを得ることができる。

【0071】なお、本明細書に記載した好ましい実施例は示例的なものであり、限定的なものでないことはもちろんである。本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によって示すものであり、本発明の精神および範囲内に含まれる全ての変形例は本発明の請求の範囲に含まれるものである。

【0072】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の累進多焦点レンズにおいては、累進屈折面を眼球側の面に設定することにより、物体側の面を非球面とせざるを得ない設計から開放し、物体側の面をベースカーブが一定の球面で構成できるようにしている。従って、物体側の面に起因するシェーブ・ファクターMsによる倍率Msの変動を防止することができるので、遠用部と近用部の倍率差を低減することができる。このため、近年、累進屈折面の設計技術が進み、累進多焦点レンズに現れる非点収差を改善することにより像の揺れや歪みが限界まで抑制された状況の中で、本発明により、さらに遠用部と近用部との倍率差に起因する像の揺れや歪みを改善できる累進多焦点レンズを提供することができる。特に、遠用部と近用部の屈折力の差の大きな加入度の高い累進多焦点レンズにおいて、本発明の累進多焦点レンズを用いることにより、像の揺れや歪みを大幅に改善することができる。従って、本発明により、像の揺れや歪みに悩ま

18

されている加入度の大きな累進多焦点レンズのユーザーに対し快適な視野を提供することが可能になる。

【0073】また、本発明においては、眼球側の面に累進屈折面と乱視矯正用のトーリック面を合成して所定の性能を発揮できる合成式を提供しており、この合成式を用いることにより、乱視矯正用の累進多焦点レンズにおいても、累進屈折面を眼球側の面に設けて像の揺れや歪みを改善することができる。従って、本発明により、乱視矯正の有無に係わらずユーザーに対し揺れや歪みが抑制された快適な視野を提供できる累進多焦点レンズを実現することができる。本発明の合成式を用いることにより、本発明の累進多焦点レンズを、これまでのどのような累進面設計のレンズに対しても適用でき、揺れや歪みの改善といった本発明の効果を得ることができる。従って、従来、物体側の面に累進屈折面が設けられて市販されていた累進多焦点レンズのシリーズを全て眼球側に累進屈折面を設けたシリーズとして置き換えて市販することが可能であり、全てのユーザーに対して快適で明るい視野を提供することができる。

【0074】さらに、本発明の累進多焦点レンズにおいては、眼球側の面に累進屈折面およびトーリック面を設定できるので、物体側の面を自由な目的で使用することができる。上述したように、物体側の凸面をベースカーブの一定したファッショナブルな球面として像の揺れや歪みを防止するとともにファンション性に富んだ眼鏡レンズを提供することができる。また、レンズ全体の非点収差を改善するために、物体側の凸面を回転軸対称な非球面とすることも可能である。特開平2-289818号には、物体側の凸面として、回転軸対称の対称軸の少なくとも近傍においては対称軸からレンズ外周方向に曲率が実質的に増加する非球面状の凸面を採用することにより、レンズの縁厚を薄くでき、これと共に非点収差を改善できることが開示されている。このような回転軸対称非球面の凸面を本発明の累進多焦点レンズの凸面に採用することも可能である。さらに、物体側の凸面としては球面または回転軸対称な非球面に限定されるものではなく、非点収差などのレンズの光学的な性能をさらに向上させるための非球面、ユーザーの個性に合ったファッショナブルな非球面を物体側の凸面を設けることも可能である。このように、本発明により、累進多焦点レンズとしての光学的な性能にファンション性を与えるための非球面を凸面に設けることも可能である。従って、本発明の累進多焦点レンズを眼鏡レンズに加工することにより、累進多焦点レンズとしての光学的な性能にファンション性を加味した眼鏡レンズを提供することも可能であり、さらに眼鏡レンズの物体側の面の用途を様々に広げることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の累進多焦点レンズの概要を示す説明図である。

(11)

19

【図2】本発明の累進多焦点レンズの遠用部の倍率、近用部の倍率および遠用部と近用部の倍率差の例を表にして従来の累進多焦点レンズと比較して示す図である。

【図3】本発明の累進多焦点レンズの加入度毎の遠用部と近用部の倍率差の例を表にして従来の累進多焦点レンズと比較して示す図である。

【図4】本発明の実施例1に係る累進多焦点レンズの概要を示す図であり、(a)は正面図、(b)は主注視線に沿った断面図である。

【図5】図4に示す累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図6】図4に示す累進多焦点レンズの眼球側の面のz座標を示す図である。

【図7】図4に示す累進多焦点レンズの主注視線に沿った眼球側の面の曲率半径(曲率の逆数)を示す図である。

【図8】図4に示す累進多焦点レンズの主注視線に直交する方向の眼球側の面の曲率半径を示す図であり、図8(a)は遠用部の曲率半径を示し、図8(b)は近用部の曲率半径を示す図である。

【図9】図4に示す累進多焦点レンズに270度基底のプリズムを施す様子を示す図であり、図9(a)はプリズムを施さない例の累進多焦点レンズの断面を示し、図9(b)はプリズムを施した例の累進多焦点レンズの断面を示してある。

【図10】本発明の実施例2に係る累進多焦点レンズの概要を示す図であり、図10(a)は正面図、図10(b)は主注視線に沿った断面図である。

【図11】図10に示す累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図12】図10に示す累進多焦点レンズの眼球側の面のz座標を示す図である。

【図13】本発明の視力補正能力と乱視矯正能力とを備えた累進多焦点レンズの製造方法を示すフローチャートである。

【図14】本発明の視力補正能力と乱視矯正能力とを備えた累進多焦点レンズの遠用部と近用部の倍率差の例を表にして従来の累進多焦点レンズと比較して示す図である。

【図2】

	凹面累進(本発明)	凸面累進(従来)
遠用の倍率	1.047	1.047
近用の倍率	1.097	1.108
遠近の倍率差	0.050	0.061

(11)

20

【図15】本発明の実施例2においてオリジナル累進屈折面とオリジナルトーリック面を加算したレンズの概要を示す図であり、図15(a)は正面図、図15(b)は主注視線に沿った断面図である。

【図16】図15に示すレンズの非点収差を示す図である。

【図17】図15に示すレンズの眼球側の面のz座標を示す図である。

【図18】図10に示す本発明の実施例2の累進多焦点レンズの主注視線に沿った非点収差の変化を、図28に示す従来の累進多焦点レンズおよび図15に示すレンズのそれと共に示すグラフである。

【図19】本発明の異なる実施例の累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図20】図19に示した累進多焦点レンズに対応する従来の累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図21】図19に対応して合成式を用いて形成した累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図22】本発明のさらに異なる実施例の累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図23】図22に示した累進多焦点レンズに対応する従来の累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図24】図22に対応して合成式を用いて形成した累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

【図25】従来の累進多焦点レンズの概要を示す図であり、図25(a)は正面図、図25(b)は主注視線に沿った断面図である。

【図26】図25に示す累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

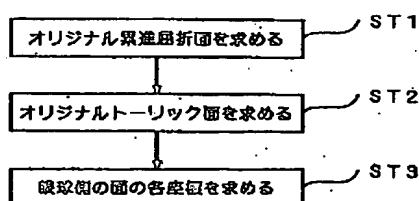
【図27】図25に示す累進多焦点レンズの物体側の累進屈折面のz座標を示す図である。

【図28】従来の乱視矯正用の累進多焦点レンズの概要を示す図であり、図28(a)は正面図、図28(b)は主注視線に沿った断面図である。

【図29】図28に示す累進多焦点レンズの非点収差を示す図である。

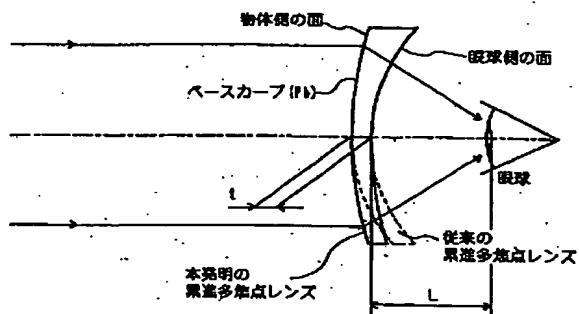
【図30】図28に示す累進多焦点レンズの眼球側のトーリック面のz座標を示す図である。

【図13】

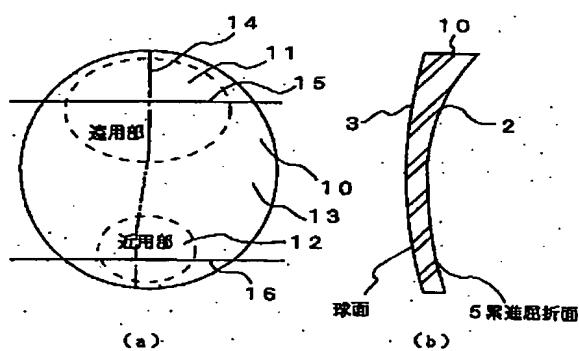


(12)

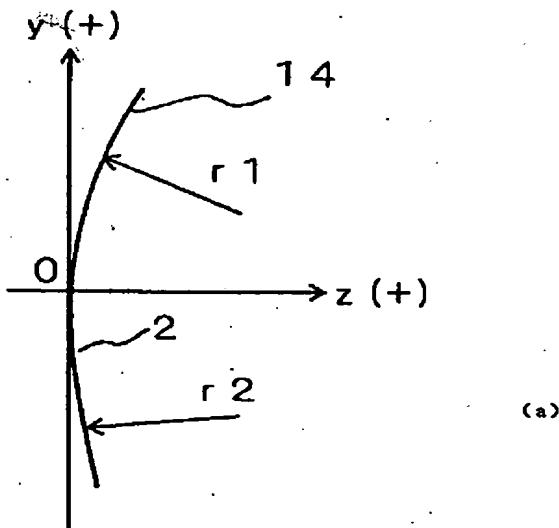
【図1】



【図4】



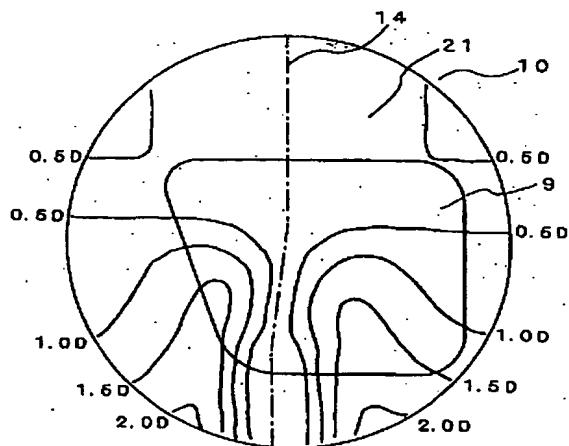
【図7】



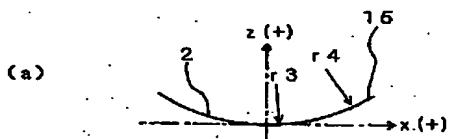
【図3】

加入度(D)	凹面聚光(本發明)	凹面聚光(既知)
0. 50	0. 008	0. 009
0. 75	0. 011	0. 013
1. 00	0. 015	0. 018
1. 25	0. 019	0. 022
1. 50	0. 023	0. 027
1. 75	0. 027	0. 032
2. 00	0. 031	0. 036
2. 25	0. 035	0. 041
2. 50	0. 039	0. 046
2. 75	0. 043	0. 051
3. 00	0. 048	0. 055
3. 25	0. 052	0. 060
3. 50	0. 056	0. 065

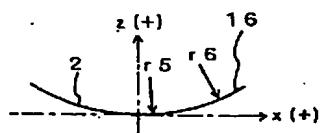
【図5】



[図 8]

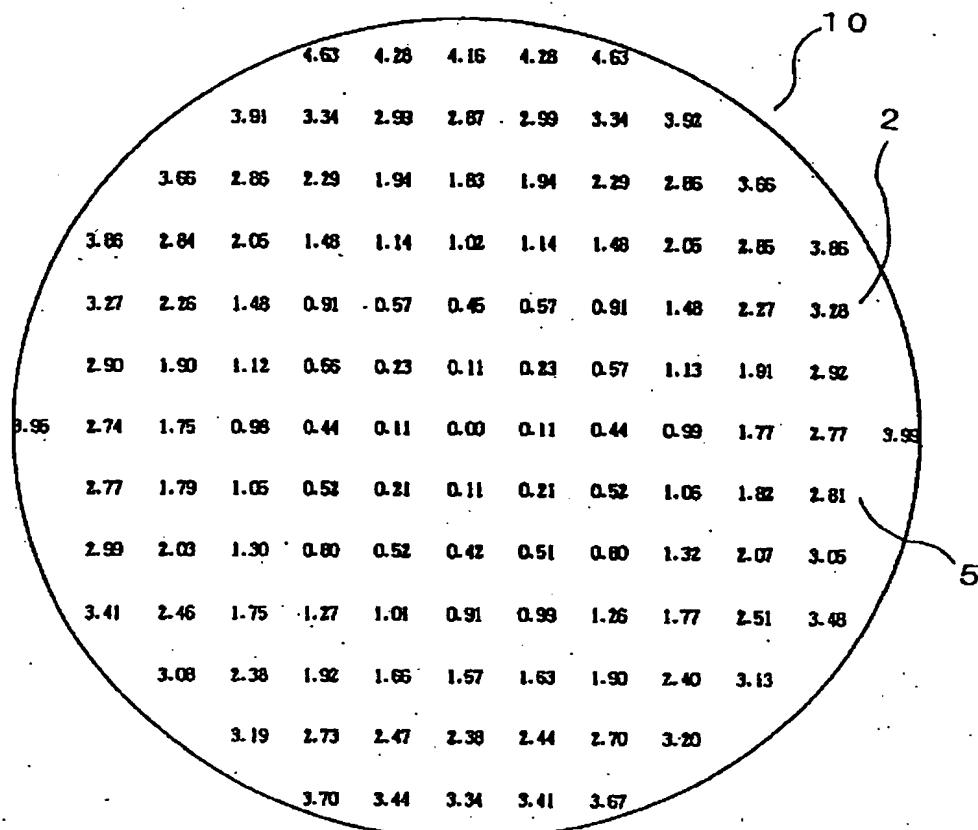


(b)



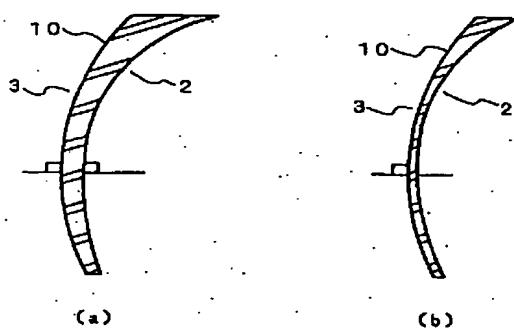
(13)

【図6】

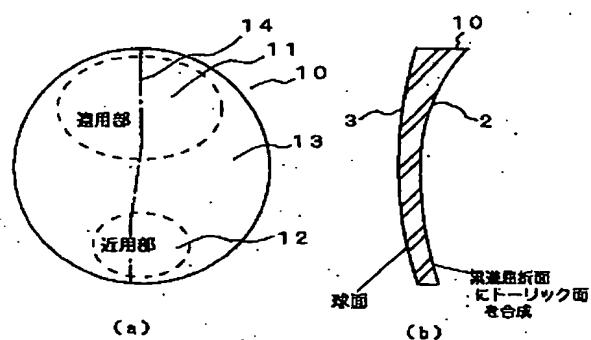


乙座標 (mm)

【図9】

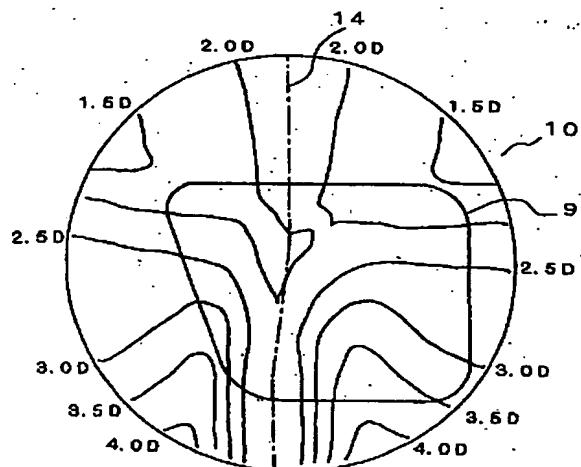


【図10】



(14)

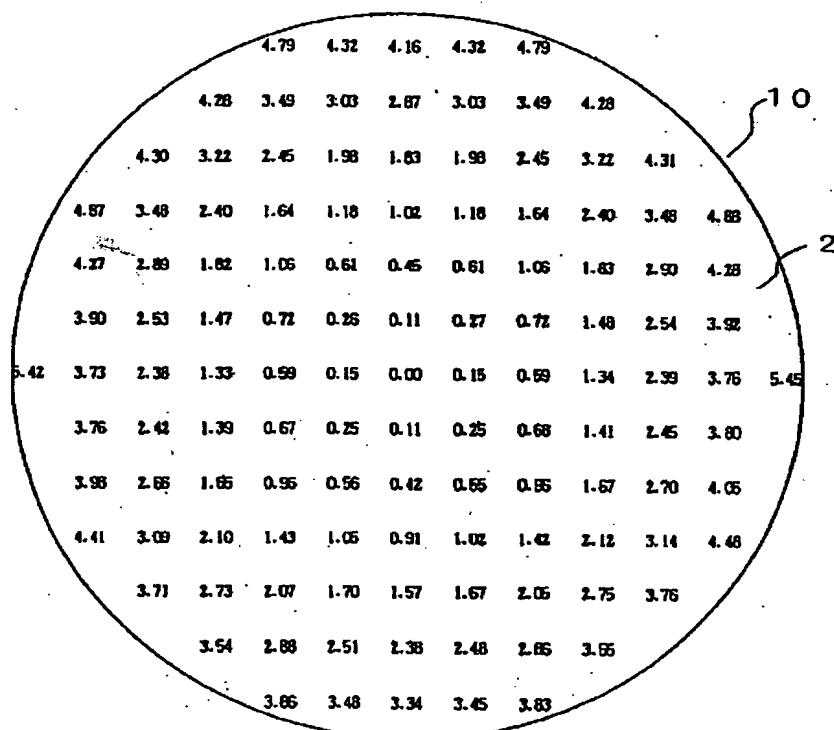
【図11】



【図14】

	凹面累進(本発明)		凸面累進(従来)	
	90度角 180度角	180度角	90度角 180度角	180度角
通用の倍率	0.976	0.947	0.976	0.947
近用の倍率	1.007	0.976	1.011	0.980
遠近の倍率差	0.031	0.029	-0.035	0.038

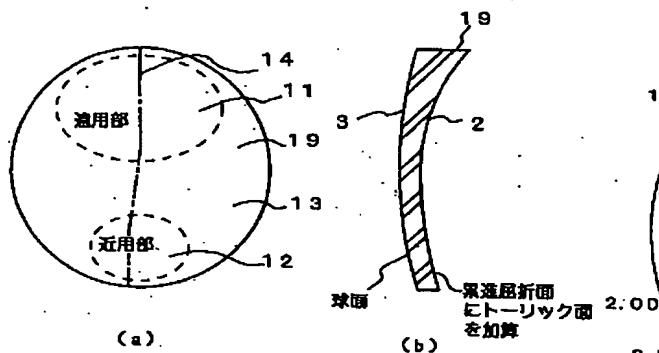
【図12】



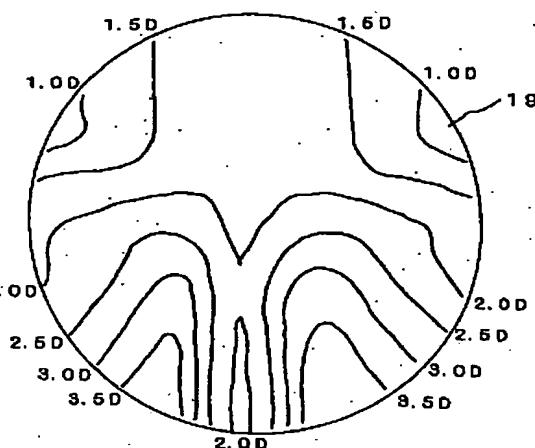
乙座標 (mm)

(15)

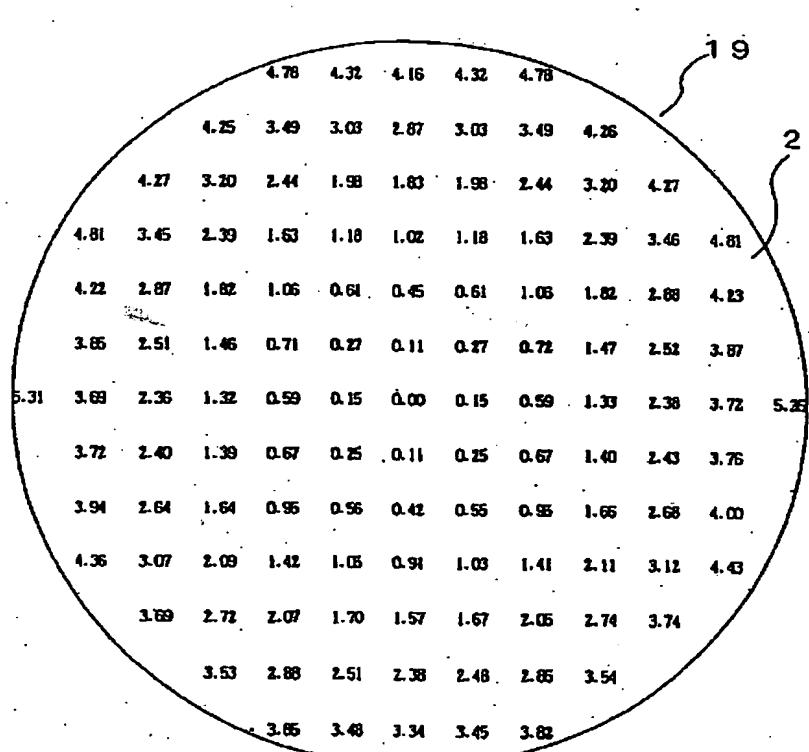
【図15】



【図16】

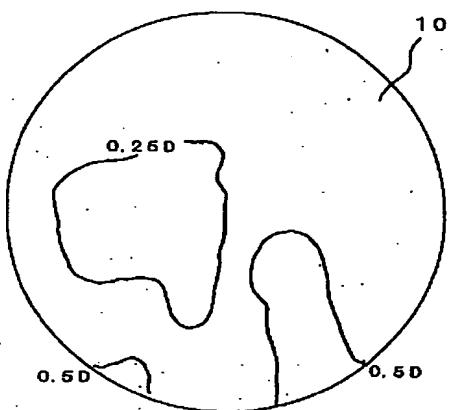


【図17】

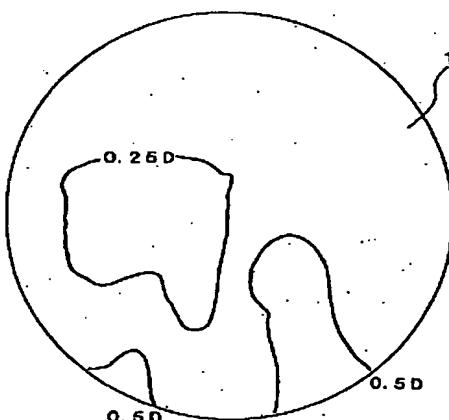


乙座標 (mm)

【図19】

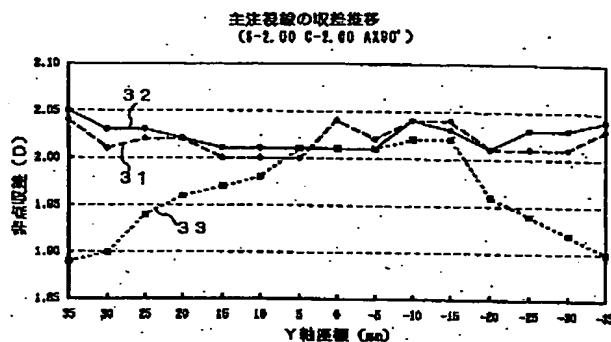


【図20】

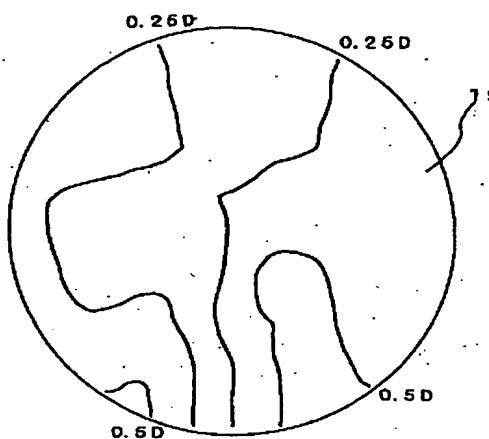


(16)

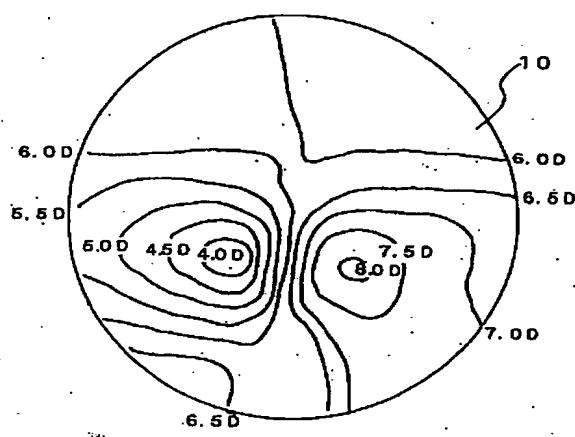
【図18】



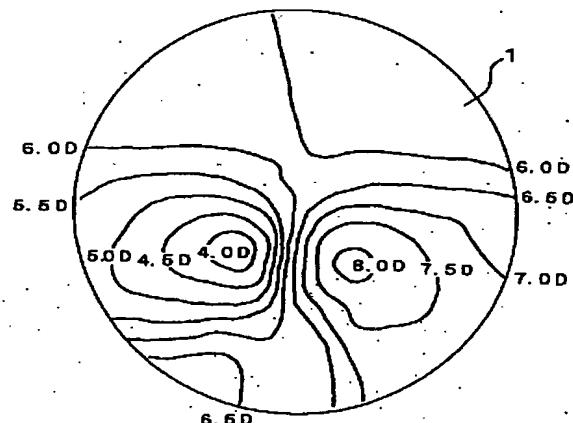
【図21】



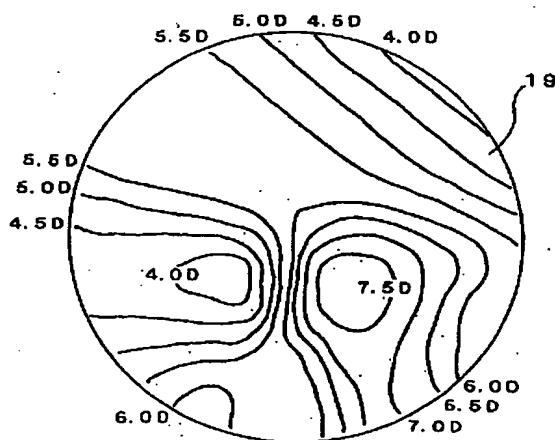
【図22】



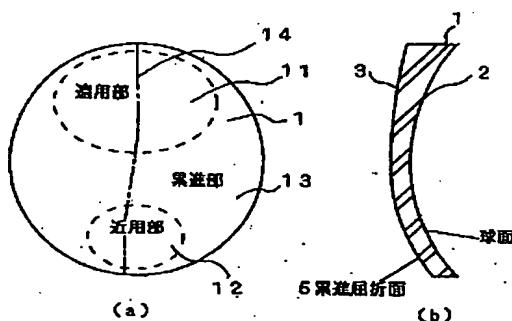
【図23】



【図24】

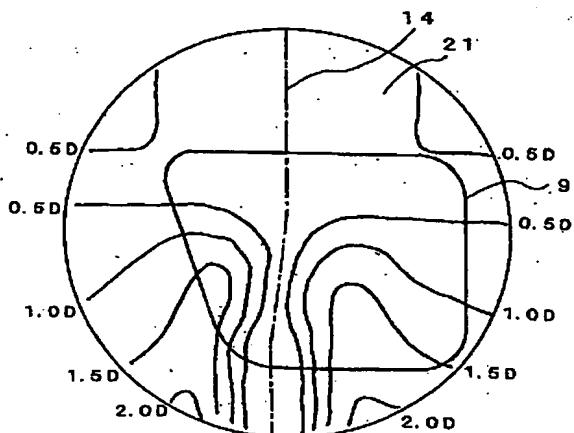


【図25】

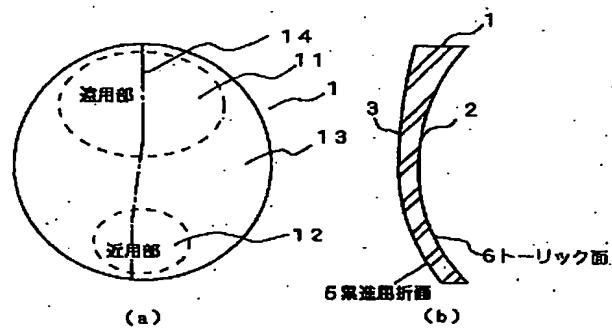


(17)

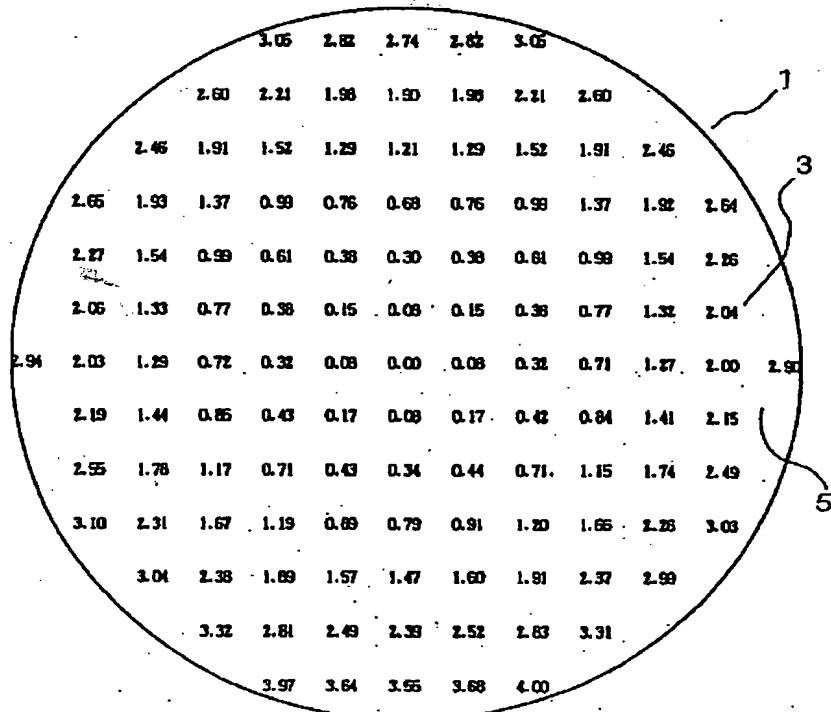
【図26】



【図28】



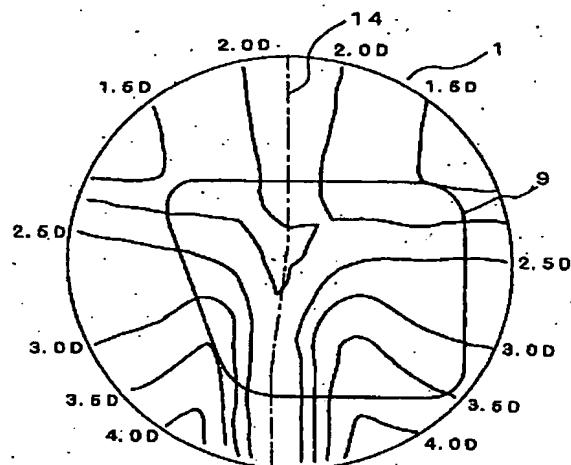
【図27】



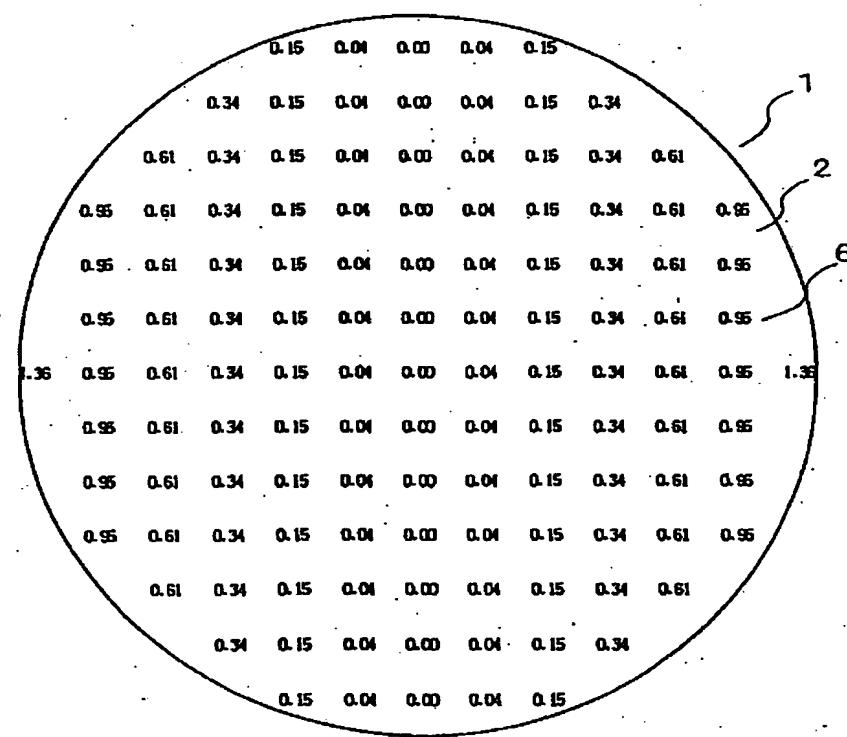
Z座標 (mm)

(18)

【図29】



【図30】



乙座標 (mm)